

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO FIN DE CARRERA

**ANÁLISIS DE TÉCNICAS CALIGRÁFICAS PARA
LA MEJORA DEL RECONOCIMIENTO
AUTOMÁTICO DE FIRMA**

Ingeniería de Telecomunicación

Francisco José Fernández Herrero

Enero 2016

ANÁLISIS DE TÉCNICAS CALIGRÁFICAS PARA LA MEJORA DEL RECONOCIMIENTO AUTOMÁTICO DE FIRMA

AUTOR: Francisco José Fernández Herrero

TUTOR: Aythami Morales Moreno



ATVS Grupo de Reconocimiento Biométrico

Dpto. de Tecnología Electrónica y de las Comunicaciones

Escuela Politécnica Superior

Universidad Autónoma de Madrid

Enero 2016

Resumen

Resumen

En este proyecto se estudian técnicas caligráficas, y características que modelan la firma manuscrita de una persona, utilizadas por examinadores forenses en el análisis estas firmas como método para mejorar sistemas automáticos de reconocimiento de firma.

Como punto de partida se ha realizado un estudio del estado del arte respecto a la fusión de sistemas online y offline y a sistemas de interacción con seres humanos, para poder conocer si estudios anteriores muestran resultados alentadores en este tipo de sistemas. También se han revisado los estudios relacionados con la interacción humana en sistemas automáticos de reconocimiento de rasgos biométricos.

Una vez comprendido estas investigaciones previas, se ha procedido al estudio y análisis de los atributos caligráficos que modelan la firma, y se han seleccionado los mas adecuados para este estudio, estos atributos serán clave para intentar mejorar los sistemas de reconocimiento automático de firma. En concreto se han seleccionado 10 atributos distintos.

Se ha creado una herramienta para poder anotar de forma manual estos atributos seleccionados en cada firma de cada usuario, consiguiendo así una nueva base de datos que contiene la información offline de las firmas analizadas.

Para capítulo experimental se ha procedido a evaluar los sistemas utilizados en este proyecto por separado, para conocer su rendimiento. Después se ha procedido a fusionarlos, además de estos experimentos principales, se han llevado a cabo experimentos relacionados únicamente con los atributos caligráficos seleccionados, para comparar su rendimiento. El sistema Manual basado en el etiquetado de atributos fusionado con el sistema automático DTW (Dynamic Time Warping) consigue mejorar en un 89 % en el caso de random forgeries (el falsificador reproduce la firma genuina sin ningún conocimiento de la misma) y un 31 % en el caso de skilled forgeries (el falsificador reproduce la firma genuina habiendo practicado y observado la firma con antelación), frente al sistema automático basado en información dinámica, DTW.

Finalmente se presentan las conclusiones extraídas a lo largo del trabajo, así como las posibles líneas de trabajo futuro.

Abstract

This project is focused on study and develop a human interaction system. The goal of this project is to improve automatic signature verification systems.

As an starting point, a study of the state-of-the-art on human interaction based systems and fusion of static and dynamic systems has been conducted.

We have studied and analysed several static signature features that the Forensic Document Examiners use on a daily basis during their work. These features will be the key to improve the automatic signature verification systems. After an exhaustive study, we have picked up 10 different features involving the geometry and layout of the signature.

An application has been developed to help the user to classify this features in each signature, in order to create a database which stores the data collected.

In order to carry out an evaluation of our system, we use the data from the BiosecureID database. We test two automatic systems, and the proposed semi-automatic system. Later, we try to fuse our system with the automatic systems achieving an improvment of 89 % for random forgeries and 31 % for skilled forgeries, when we test it against the automatic verification system alone (DTW).

Agradecimientos

En primer lugar agradecer a mi tutor Aythami por permitirme realizar este proyecto con él. Agradezco toda la ayuda continua que me ha prestado a lo largo de este año, siempre ha estado disponible para cualquier duda que se me ha presentado. Este proyecto no hubiese sido posible sin su ayuda.

En segundo lugar, a cada uno de los componentes del grupo ATVS que de una forma u otra ha hecho que este año en su laboratorio sea sencillo y entretenido. En particular a Rubén Zazo, siempre estuvo disponible para cualquier duda o para cualquier conversación y en especial a Rubén Tolosana por ayudarme y apoyarme continuamente a lo largo de este año y hacerme las tardes mas fáciles por la Uni.

En tercer lugar a todos mis amigos, que a lo largo de mi vida, empezando desde pequeños en el colegio (o en la universidad!), me han apoyado en este camino, muchísimas gracias. Nada tendría mucho sentido sin vosotros.

Por último a mi familia que siempre ha estado apoyándome en las decisiones que he tomado, y por supuesto me ha animado a terminar este Proyecto Fin de Carrera.

Muchas gracias a todos.

Francisco José Fernández Herrero
Enero 2016

Índice general

Índice de figuras	VII
Índice de tablas	X
1. Introducción	1
1.1. Aspectos generales de la biometría	1
1.1.1. Arquitectura de los sistemas biométricos	3
1.1.2. Reconocimiento de firma manuscrita	4
1.1.3. Fusión de sistemas offline y online	5
1.1.4. Sistemas basados en la interacción con humanos	7
1.2. Motivación del proyecto	11
1.3. Líneas de investigación en el campo del reconocimiento de firma en el grupo ATVS	12
1.4. Objetivos y enfoque	13
1.5. Metodología y plan de trabajo	14
1.6. Organización de la memoria	15
2. Elección de atributos para el análisis de firma manuscrita	17
2.1. Introducción	17
2.2. Análisis caligráfico de la firma	19
2.3. Atributos elegidos para el estudio	20
3. Desarrollo de la aplicación	29
3.1. Introducción	29
3.2. Etiquetado de los atributos elegidos	31
3.2.1. Comparación y análisis caligráfico de firmas	37

4. Protocolo experimental y resultados	41
4.1. Base de datos	41
4.2. Protocolo experimental	41
4.2.1. Evaluación del rendimiento	44
4.3. Experimentos	45
4.3.1. Experimentación con los atributos del sistema de Anotación Manual . . .	48
4.3.1.1. Ponderación	48
4.3.1.2. Discriminabilidad	49
5. Conclusiones y trabajo futuro	51
5.1. Conclusiones	51
5.2. Trabajo futuro	52
Glosario de acrónimos	53
Bibliografía	54
A. Histogramas	59
B. Presupuesto	65
C. Pliego de condiciones	67

Índice de figuras

1.1. Firmas recogidas de un usuario, donde se aprecia la variabilidad de la firma manuscrita, [6].	3
1.2. Arquitectura de un sistema biométrico de firma.	3
1.3. Comparativa del rendimiento del sistema humano y del sistema automático [17].	10
1.4. Arquitectura del sistema biometrico automático unido al sistema de anotación manual que se quiere desarrollar y poner a prueba, en este proyecto nos centraremos en la notación de características.	12
1.5. Diagrama del plan de trabajo seguido.	14
2.1. Análisis forense de 4 firmas indubitadas de una misma persona [31]	19
2.2. Análisis forense de una firma dubitada [31]	20
2.3. Ángulo de la firma con respecto a linea horizontal imaginaria. Las figuras A y B muestran dos posibles resultados del alineamiento para firmas del mismo usuario, (izd. genuinas der. falsificaciones).	21
2.4. Ángulo de la firma con respecto a linea horizontal imaginaria variable,[31].	21
2.5. Se diferencian 3 tipos de calibre, reducido (A), medio (B) y grande (C), [18].	22
2.6. Tipos de formato que adopta la firma. (a) Redondeada. (b) Vertical. (c) Caligráfica. (d) Vertical y horizontal. Si en la firma predominasen los trazos horizontales la clasificación de forma seria horizontal.	22
2.7. El orden evalúa el nivel de claridad y legibilidad del texto. (a) Claro. (b) Concentrado. (c) Espaciado. (d) Confuso.	23
2.8. La proporción exige analizar la relación de tamaño de cada carácter, en el caso (a) se puede observar que todos los caracteres guardan un relación muy parecida, en el caso (b) existen algunos caracteres que se desvían un poco de la media, por último en el caso (c) se muestra una firma en la que no se guarda la proporción en todos los caracteres de la misma.	23
2.9. El par de figuras A y B muestran diferentes inclinaciones de los mismos caracteres de firmas del mismo usuario, (izd. genuinas der. falsificaciones).	24

2.10. Las inclinaciones de los caracteres pueden ser variables a lo largo de la firma,[31].	24
2.11. La ubicación y existencia de los signos de puntuación pueden variar en distintas firmas de un mismo usuario. En (a) se muestra como los dos signos existentes han desaparecido, en (b) se muestra como el signo de puntuación existente se ha desplazado, (izd. genuinas der. falsificaciones).	25
2.12. Las figuras A y B muestran un posible análisis de trazos que se consideran importantes en las firmas y cómo sus longitudes pueden variar en firmas del mismo usuario, (izd. genuinas der. falsificaciones).	25
2.13. Las figuras A y B muestran un posible análisis para los espacios que existen en las firmas y cómo su tamaño puede variar en firmas del mismo usuario, (izd. genuinas der. falsificaciones).	26
2.14. Embellecedores de una firma. Rúbricas y puntos de entrada y salida de los caracteres.	26
2.15. Analizando el trazo del par de figuras A y B se pueden apreciar las 4 características que se acaban de mencionar.	28
3.1. Diseño conceptual de la herramienta.	30
3.2. Diseño final de la herramienta.	30
3.3. Firma a analizar por el etiquetador.	31
3.4. Opciones del atributo forma	31
3.5. Opciones del atributo proporcionalidad.	32
3.6. En esta imagen se puede observar como los trazos afilados de la firma genuina (izd.) se han transformado en trazos más suaves y redondeados en la firma falsificada (der.).	32
3.7. Opciones del atributo orden.	33
3.8. Opciones del atributo signos de puntuación.	33
3.9. Opciones del análisis del trazo(curvas y ángulos en bucles).	34
3.10. Opciones del análisis del trazo(dudas, retoques, temblores y caracteres inventados).	34
3.11. Cálculo del angulo global de la firma	35
3.12. Cálculo de ángulos de cada trazo	35
3.13. Cálculo de las distancias de los grafos más característicos de la firma.	36
3.14. Calculo de las distancias entre cada carácter.	36
3.15. Comparación de los datos recogidos en la BDD para 2 firmas de un mismo usuario. En color rojo se muestran los atributos no coincidentes. En color verde se muestran los atributos coincidentes.	37

3.16. Comparación de los datos recogidos en la BDD para 2 firmas de un mismo usuario. En color rojo se muestran los atributos no coincidentes. En color verde se muestran los atributos coincidentes.	39
4.1. Arquitectura que resume el estudio realizado.	42
4.2. (a) <i>Ejemplo de un factor de ponderación $w(k)$ simétrico para DTW.</i> (b) <i>Ejemplo de la correspondencia punto a punto usando DTW entre dos secuencias de firmas genuinas [36].</i>	43
4.3. Descriptores SIFT extraídos de dos firmas distintas de un mismo usuario.	44
4.4. Experimentación con los sistemas existentes.	45
4.5. Rendimiento de los sistemas con respecto a su FAR y FRR, por separado para el caso de skilled forgeries.	46
4.6. Rendimiento de los sistemas, con respecto a su FAR y FRR, por separado para el caso de random forgeries.	46
4.7. Rendimiento de las fusiones de los sistemas con respecto a su FAR y FRR, para el caso de skilled forgeries.	47
4.8. Rendimiento de las fusiones de los sistemas con respecto a su FAR y FRR, para el caso de random forgeries.	48
4.9. Índices de discriminabilidad de cada atributo para random y skilled forgeries. . .	50
A.1. Distribución de la longitud en altura y anchura de las firmas analizadas.	59
A.2. Distribución de los ángulos de los caracteres de la firma.	60
A.3. Distribución de los tipos de bucles y giros presentes en el trazo.	60
A.4. Distribución de la longitud de los trazos de la firma.	61
A.5. Distribución de la longitud del espaciado entre caracteres de la firma.	61
A.6. Distribución de los ángulos de la firma con respecto a la línea de referencia. . . .	61
A.7. Distribución de los valores del calibre.	62
A.8. Distribución de los valores de la característica dudas y retoques.	62
A.9. Distribución de los valores de la forma de la firma.	62
A.10. Distribución de los valores de la variable signos de puntuación.	63
A.11. Distribución de los valores de la variable orden.	63

Índice de tablas

1.1.	Comparación de los resultados en función de EER obtenidos para cada sistema por separado [7]. El término TR especifica el número de muestras de entrenamiento.	5
1.2.	Comparación de los resultados en función del acierto obtenido [16].	10
1.3.	Comparación de los resultados en del FAR y FRR para cada tipo de firmas falsificadas. Aleatorias, simuladas de tipo 1, en las que el usuario conoce muy pocas características de la firma a falsificar, y simuladas de tipo 2, en las que existe un mejor proceso de falsificación [18].	11
2.1.	Atributos de la firma, clasificados por grupos. En verde se muestran los atributos clasificados como geométricos. En azul se muestran los atributos clasificados como rasgos que modifican y alteran el trazo. En rojo se muestran los atributos clasificados como características específicas para el trazo de la firma. El resto de atributos se agrupan en el grupo de modificadores de los elementos y caracteres de la firma.	18
4.1.	Comparación de los resultados en función de EER obtenidos para cada sistema por separado.	45
4.2.	Comparación de los resultados en función de EER obtenidos para la fusión de sistemas.	47
4.3.	Comparación del EER obtenido en función de la ponderación de los dos grupos de atributos.	49

1

Introducción

En éste capítulo se resumirá la organización de la memoria y el plan de trabajo que se ha seguido a lo largo de la duración del proyecto. Se presentarán los aspectos mas importantes y generales de la biometría, junto con un resumen de la investigación en el campo en el que se desarrolla este proyecto. Por último se describirán las motivaciones y objetivos de este Proyecto Fin de Carrera.

1.1. Aspectos generales de la biometría

Existen numerosas situaciones en las que se requiere la identificación de una persona de forma inequívoca resulta necesaria. Años atrás esta necesidad se solucionaba únicamente con métodos de verificación de las personas basados en contraseñas o documentos de identidad. Estos métodos de control son relativamente fáciles de superar, una contraseña se puede robar u olvidar, y un documento identificativo puede falsificarse. Existen muchas situaciones actuales en las que se requiere una identificación de la persona de una forma más segura y eficiente, se han investigado y desarrollado técnicas automáticas de reconocimiento de la persona basadas en sus rasgos biométricos. Estas nuevas técnicas suponen una mejora con respecto a anteriores métodos de identificación, mejorando la seguridad y rapidez.

Existen varias características biométricas que actualmente se utilizan en entornos operacionales, como por ejemplo la huella dactilar y el reconocimiento de cara o iris en aeropuertos. Con respecto al interés de este proyecto, la firma manuscrita, es otra característica aceptada como rasgo biométrico útil para el reconocimiento de una persona. Este rasgo es fundamental debido

a su amplia aceptación y extendido uso (autenticación de numerosos documentos, transacciones económicas, envío de paquetería, notaría...). En estos últimos años se ha potenciado la investigación en este campo a través de mecanismos automáticos de verificación online y offline de la firma manuscrita, [1].

Asociar una identidad a un individuo se denomina identificación de la persona, esta identificación se puede categorizar en dos tipos [2] [3]:

- **Autenticación o reconocimiento:** este tipo hace referencia al problema de confirmar que un individuo es realmente quien dice ser, es decir, se comparará su rasgo biométrico con el rasgo auténtico de la persona en cuestión (previamente registrado y almacenado en una base de datos).
- **Identificación:** hace referencia al problema de establecer la identidad de un individuo, cuando accede a un sistema, entre un grupo de identidades ya conocidas (previamente registradas y almacenadas en una base de datos).

Los rasgos biométricos usados para identificar a un individuo tienen unas determinadas características que lo hacen ser considerado como un rasgo biométrico válido para la identificación o reconocimiento:

- **Universalidad:** todas las personas deben poseer ese rasgo.
- **Diferenciación:** el rasgo debe ser lo suficientemente distinto entre cada persona.
- **Permanencia:** el rasgo debe permanecer invariante un tiempo suficiente.
- **Cuantificación:** la característica debe poder ser cuantificada y medida adecuadamente.

Estas 4 características son condiciones necesarias pero no suficientes para que un rasgo biométrico sea usado para reconocimiento biométrico, hay otros aspectos y problemas a tener en cuenta, como los que se listan a continuación:

- **Rendimiento:** característica que se relaciona con el grado de precisión que posee el sistema al reconocer a un individuo, y la velocidad con lo que lo hace, teniendo en cuenta los factores que puedan afectar a esta precisión y velocidad.
- **Aceptabilidad:** esta característica indica el nivel de tolerancia de las personas al hecho de que un rasgo biométrico personal sea recogido y clasificado.
- **Elusión:** esta cualidad se relaciona con la facilidad que tiene el sistema de ser engañado.

Existen varios rasgos biométricos que, en mayor o menor medida, cumplen las características anteriormente mencionadas [2], reconocimiento de cara, huella dactilar, geometría de la mano, pulsaciones de teclado, iris, escaneado de retina, voz, olor, ADN...

El reconocimiento automático de firma manuscrita es uno de los rasgos biométricos más populares. En los últimos 15 años se ha aumentado la investigación en este campo debido a su gran aceptabilidad, y a su facilidad para ser recogida en una base de datos [4]. Por el contrario posee algunos puntos negativos como el rendimiento, las tasas de rendimiento están todavía alejadas de otros rasgos como la huella dactilar o el iris. La variabilidad (Fig 1.1), ya que debido a la naturaleza de esta característica existe una alta variabilidad intra-clase, es decir, existen diferencias notables entre cada una de las muestras de un mismo individuo. Por último, posee una relativa baja permanencia a lo largo del tiempo. Existe poca información acerca de cómo la edad y el paso del tiempo pueden afectar a este rasgo biométrico, aunque existen algunos estudios [5], que revelan indicios de cómo el paso del tiempo puede afectar en la firma manuscrita. Estas características, junto con otras, hacen que el reconocimiento basado en firma manuscrita sea conveniente en determinados escenarios (banca, administración electrónica, etc) pero no en otras (control de acceso, sistemas de elevada seguridad, etc).



Figura 1.1: Firmas recogidas de un usuario, donde se aprecia la variabilidad de la firma manuscrita, [6].

1.1.1. Arquitectura de los sistemas biométricos

Todos estos rasgos individuales comentados anteriormente serán analizados en sistemas de reconocimiento biométrico, en los cuales se puede diferenciar dos fases fundamentales, la primera fase consiste en registrar el rasgo biométrico en cuestión junto a la identidad que posee esa característica y almacenarlo en una base de datos, la segunda fase consistirá en el reconocimiento de un usuario desconocido cuando intenta acceder al sistema, gracias a la comparación de su rasgo biométrico con los almacenados en la base de datos [1]. En la Fig 1.2 se muestra la arquitectura típica para un sistema de reconocimiento biométrico de firma manuscrita.

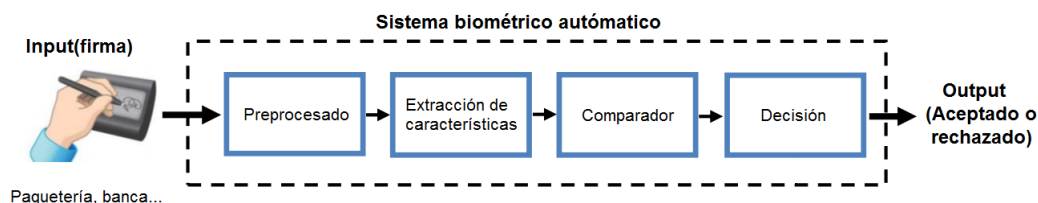


Figura 1.2: Arquitectura de un sistema biométrico de firma.

- **Preprocesado:** una vez que se ha capturado la firma, ya sea de forma digital con tabletas

digitales o dispositivos táctiles, se procede a un primer procesado de la firma. Se realizan filtrados de ruido, normalizaciones, se aplican técnicas de diezmado para eliminar muestras repetidas producidas por el dispositivo o técnicas de interpolación para dar continuidad al trazo de la firma por pérdida de muestras producidas durante la captura.

- **Extracción de características:** en este proceso se obtienen las características necesarias que distinguen cada firma de una base de datos, dependiendo de que características se extraigan, podemos dividir los sistemas en dos grupos:
 - Sistemas basados en características: basados en la extracción de características globales (número de pen-ups, textura de la imagen, duración total de la firma...) para conseguir un vector de características para cada usuario.
 - Sistemas basados en funciones: basados en la comparación de secuencias temporales que definen la firma (secuencias como la posición en x, la posición en y, presión...).
- **Comparador:** en esta etapa la firma dubitada se compara con un set de firmas genuinas de entrenamiento, las características de la primera son comparadas con el set elegido. La comparación se realiza generalmente a través de medidas de distancia entre vectores para sistemas basados en características ó técnicas como Dynamic Time Warping para sistemas basados en funciones.
- **Decisión:** en esta etapa se produce la normalización de las puntuaciones o scores conseguidos, y se decide si la firma es falsa o auténtica.

1.1.2. Reconocimiento de firma manuscrita

Las características anteriormente mencionadas hacen que el análisis de este rasgo biométrico sea relativamente complicado, además dependiendo de como se haya capturado la firma, tendremos una determinada información disponible que facilitará o hará más difícil este análisis.

Dependiendo de la naturaleza de la información utilizada para reconocer la firma, el análisis automático se divide en dos ramas bien diferenciadas:

- **Reconocimiento de firma off-line:** también conocido como reconocimiento estático de firma, en este tipo de análisis sólo se dispone de información relativa a la imagen de la firma (el trazo). Se trabaja habitualmente con características geométricas y de textura extraídas automáticamente de la imagen binaria de la firma. Este es el escenario habitual en aplicaciones forenses o documentoscopia.
- **Reconocimiento de firma on-line:** también conocido como reconocimiento dinámico de firma, en este tipo de análisis se podrán usar, además de características geométricas, información dinámica, es decir, funciones temporales que representan algún elemento que caracteriza a la firma durante el proceso de creación de la misma, como por ejemplo,

la presión o las trayectorias. Este escenario es más propio de reconocimiento in situ de identidades.

Numerosos estudios se han publicado para dar solución tanto al reconocimiento de firma offline como a la firma online. Históricamente el reconocimiento de firma online ha sido más utilizado y estudiado que el de la firma offline debido a la mayor sencillez, rapidez de adquisición, mayor número de aplicaciones potenciales y al rendimiento que ha sido superior al de la firma offline debido al acceso de información adicional, como por ejemplo información de tipo temporal [4].

Otros estudios se han centrado en investigar y tratar de descubrir las posibles relaciones existentes entre el reconocimiento de firma online y offline, en ellos se muestran resultados prometedores que indican la posibilidad de crear sistemas de fusión con mejores rendimientos que los sistemas de verificación automática de firma on-line, [7],[8],[9],[10] estos estudios se desarrollaran brevemente en la siguiente sección.

1.1.3. Fusión de sistemas offline y online

A continuación se exponen estudios prometedores en el ámbito de la fusión de información estática y dinámica, es decir el uso de sistemas on-line junto con sistemas off-line, ya que se relacionan con uno de los objetivos de este estudio.

En [7], se presenta un sistema basado en la fusión de características online y offline implementándose 4 sistemas distintos. Respecto al sistema online, en el primer sistema se seleccionan características globales de un set de 100 distintas [11], para el sistema basado en características locales se usan elementos como la trayectoria y la presión y un set que deriva de las trayectorias previamente procesadas. Respecto al sistema offline, se usa un sistema de características globales basado en extraer, con operadores morfológicos, elementos como la inclinación de los grafos, para el sistema de características locales se calcula las curvaturas presentes en la firma. Los resultados del estudio se muestran la tabla 1.1.

	4 TR	12 TR	4 TR	12 TR
Global offline	36.06 %	32.08 %	23.31 %	21.79 %
Local offline	25.53 %	22.90 %	10.38 %	8.27 %
Combined offline	25.99 %	21.34 %	9.23 %	6.94 %
Global online	12.56 %	6.22 %	11.43 %	5.85 %
Local online	9.94 %	3.76 %	6.14 %	0.90 %
Combined onnline	5.38 %	1.53 %	2.88 %	0.39 %
Combined all	3.43 %	0.00 %	1.73 %	0.38 %

Tabla 1.1: Comparación de los resultados en función de EER obtenidos para cada sistema por separado [7]. El término TR especifica el número de muestras de entrenamiento.

Se consigue un rendimiento superior cuando se fusiona el análisis de las características online y offline, consiguiendo una mejora tanto en skilled forgeries (el falsificador reproduce la firma genuina habiendo practicado y observado la firma con antelación) como en random forgeries (el falsificador reproduce la firma genuina sin ningún conocimiento de la misma).

En [8] se captura un set de firmas y se analizan algunas características estáticas, por ejemplo texturas y características topológicas, y algunas características dinámicas como presión, pen-ups y tiempo necesario para generar la firma. Para conseguir los resultados de la fusión de las diferentes características y análisis, se realiza una suma ponderada optimizada para este estudio. En este estudio se consigue mejorar alrededor de 1 % el rendimiento del sistema. Una de las posibles limitaciones de este sistema es que no se recogen firmas offline reales [4], sino que son sintéticamente creadas como un simple trazo de las firmas online, no pudiendo, así, establecer una comparación justa entre el rendimiento del sistema online con el sistema offline.

En [9], se realiza el mismo método que en [8] para conseguir las firmas sintéticas offline. En este estudio se toman como características online únicamente la velocidad que toma al usuario firmar, respecto a las características offline se tienen en cuenta Descriptores de Fourier, que caracterizan la forma de una figura plana cerrada, y el Momento Central Normalizado. Se muestra un resultado de un 0 % en falsificaciones no intencionadas, no teniendo en cuenta las falsificaciones intencionadas.

Por último y como más reciente estudio, en [4] se plantea de nuevo la fusión de los sistemas offline y online. Primero se propone un método para crear firmas sintéticas offline que proporcionen mas información que si sólo se procediera a unir los puntos de trayectoria de la firma online. Las características incluidas en esta versión mejorada de las firmas offline sintéticas son la presión y la velocidad de la firma y además el trazo generado por los pen-ups, por último se aplica un modelo para simular la tinta del bolígrafo para conseguir una firma sintética final más realista.

Para el análisis de esta fusión de características se utilizan dos bases de datos, la primera contiene firmas online y offline reales (firmas offline que son versiones exactas de las firmas online), en la segunda se crean las firmas sintéticas mejoradas a partir de las firmas online, mencionadas anteriormente.

Se realizan 3 sistemas en total para este estudio:

■ **Sistema online:**

- **Funciones + DTW:** este sistema usa SFFS que selecciona funciones (por ejemplo las derivadas de las trayectorias) de un set de secuencias temporales, se usa DTW para optimizar la distancia Euclídea entre cada par de secuencias temporales, por último se computa el rendimiento del sistema mediante media de los scores para cada firma.
- **Características + Distancia Mahalanobis:** se utilizan las características que dan mejor rendimiento del set de 100 características definido en [11], los scores son calculados mediante la distancia Mahalanobis.

- **Sistema offline:** se utiliza LBP + SVM que trabajan con patrones binarios y patrones directivos respectivamente, las firmas son divididas en bloques y se extraen las características mencionadas, después se combinan los scores parciales para obtener el rendimiento total del sistema.

Los experimentos realizados en este estudio son más extensos que en los trabajos presentados anteriormente, obteniendo, por tanto, unos resultados mas completos. Primero se realiza un análisis de cada sistema por separado para comprobar su eficacia, el sistema online basado en funciones, el sistema online basado en características, y el sistema offline que se prueba en la base de datos offline real y en la sintética. Como segundo experimento se fusionan dos sistemas para comprobar su funcionamiento, obteniendo mejoras en los rendimientos de hasta un 79 % en firmas falsificadas no intencionadas y de hasta un 44 % en firmas falsificadas intencionadas. Como último experimento se fusionan los 3 sistemas y se prueban en las dos bases de datos, la que contiene firmas offline reales y la que posee firmas offline sintéticas, consiguiendo de nuevo mejoras con respecto al segundo experimento, de hasta un 24 % en firmas falsificadas no intencionadas y de hasta un 2 % en firmas falsificadas intencionadas.

Por último, los resultados confirman que el nuevo método propuesto para la generación sintética de firmas offline, es un método válido y, una forma de conseguir firmas offline a partir de firmas online cuando se necesitan demasiados medios para conseguirlas por otro modo, ya que las curvas DET para ambos análisis son casi idénticas, es decir el sistema offline funciona casi de la misma forma con firmas offline reales y con firmas offline sintéticas. Además, al tener datos dinámicos en la firma sintética, se consigue un EER superior que con la base de datos de firmas offline reales, debido a que en la mayoría de falsificaciones en lo primero que se fija el usuario es en la forma de los grafos, no en la presión del trazo, fluidez, velocidad del trazo o puntos de salida/entrada de la firma.

1.1.4. Sistemas basados en la interacción con humanos

El ser humano usa cualidades para describir y caracterizar a otras personas, con términos como 'alto', 'delgado', 'joven'..., estos rasgos se usan diariamente, por lo que la identificación de una persona a través de un testigo y mediante el uso de estos rasgos o 'soft biometrics' es relativamente sencilla. En ocasiones rasgos biométricos como la cara y la forma de caminar pueden no ser reconocibles en una grabación debido a la calidad de la imagen o al ángulo como fue tomada. En estos casos la caracterización por 'soft biometrics' puede dar lugar a mejores resultados que sistemas de reconocimiento automático.

Los atributos de rasgos biométricos etiquetados manualmente son de especial interés para el presente proyecto por lo que a continuación se resumen estudios de la interacción de personas con sistemas y aplicaciones de reconocimiento de firma. En éstos se recogen y etiquetan manualmente atributos y rasgos biométricos para usarlos en un sistema de etiquetado manual o semi-automático. Primero se exponen estudios relacionados con la forma de caminar y el reconocimiento de cara, ya que son dos rasgos biométricos en los que el uso de etiquetas ha sido

ampliamente investigado, por último se exponen los artículos relacionados con la firma manuscrita.

- **Forma de caminar:**

En [12] se propone un nuevo método para obtener descripciones de la personas basado en la comparación con otras personas, en lugar de utilizar etiquetas absolutas e individuales. También se estudia la efectividad con la que las personas pueden comparar este tipo de rasgos y cómo éstas comparaciones pueden aplicarse al reconocimiento de personas a través de 'soft biometrics'.

En este trabajo se presenta al etiquetador dos vídeos que muestran este rasgo biométrico, permitiendo una comparación directa entre los dos vídeos. El etiquetador debe clasificar 16 características, que tendrá que observar y cuantificar cuando las personas que aparecen en el vídeo están caminando.

Los experimentos y resultados conseguidos muestran un mejor rendimiento a través del uso de etiquetas comparativas en lugar de etiquetas absolutas e individuales. Se consigue un 95 % de precisión en el reconocimiento de la persona con 20 comparaciones gracias al sistema de etiquetado creado.

- **Cara:**

En [13] para poder realizar la verificación de la persona a través de la cara, se propone usar etiquetas que forman una lista de atributos visuales descriptivos, en lugar de características de bajo nivel como valor de pixels o direcciones de gradientes. Estos atributos son muy variados, información demográfica como edad y sexo, o información física como el tamaño de la nariz, forma de la boca o anchura de las cejas. Los atributos se han elegido con el objetivo de ser lo más generales como sea posible para poder ser aplicados a cualquier situación, también se basan en el vocabulario utilizado diariamente por las personas para describir a otros. También se tienen en cuenta las comparaciones o disimilitudes que los seres humanos encuentran y utilizan para poder describir de mejor forma a otras personas.

En este estudio se muestra el uso que se puede dar a estos atributos recogidos, sistemas de verificación de cara y búsqueda de imagen (a través de los rasgos de la cara). Gracias al uso de el sistema de atributos propuesto se consiguen interesantes resultados para la verificación de la persona a través de la cara. También se consigue mejorar la calidad de los resultados de motores de búsqueda convencionales cuando se busca imágenes de caras, debido a que los motores convencionales se basan en una gran medida en anotaciones del texto que rodea la imagen encontrada.

Para la experimentación con estos atributos se desarrolla un sistema automático y también se prueba con etiquetado manual con personas, se consigue una precisión del 81,57 % para el sistema automático con 18 atributos, mientras que el etiquetado manual consigue un 91.86 %.

En [14] se presenta otro sistema de etiquetado manual de atributos para describir la cara, para evaluar su rendimiento en investigaciones criminales frente a otros sistemas como la identificación de la persona a través de su retrato robot, ya sea automático o manualmente creado. Los retratos robot tienen varios inconvenientes, requieren a menudo de un artista habilidoso que interprete la información dictada por los testigos del delito, además tienen el inconveniente del tiempo que transcurre hasta que finalmente se consigue el retrato robot, además éste retrato robot está muy condicionado por la información que dan los testigos.

Junto con el sistema de anotación manual de atributos se crea un sistema automático de extracción de esos mismos atributos. Se evalúa el rendimiento de cada sistema comparándolo con el resto de sistemas disponibles. Para el sistema de etiquetado manual de atributos, al ser recogidos por personas inexpertas por medio de tareas periódicas, se consiguen peores resultados que si se usan los retratos robot, aunque si se consigue una mejora notable si se fusionan ambos sistemas. Como segundo experimento se comprueba la discriminabilidad de cada atributo, éstos atributos tendrán mayor o menos importancia según el sistema que se utilice, por ejemplo los ojos ofrecen información importante en el reconocimiento de cara estándar, pero el proceso de etiquetarlos manualmente es mas complicado, dando peores resultados en el nivel de discriminabilidad. Como último experimento se utilizan los dos nuevos sistemas creados, combinándolos de diversas formas para obtener rendimientos cercanos a los conseguidos por el sistema de retrato robot.

En [15] se presenta otro modelo de reconocimiento de cara, esta vez para dispositivos móviles, un sistema basado en atributos. El sistema entrenado previamente consigue extraer hasta 44 rasgos distintos que luego son comparados con los rasgos almacenados para el usuario en cuestión. Entre los rasgos analizados se encuentran características como colores y texturas o localización de rasgos importantes, además se consideran y analizan las partes de la cara.

Los experimentos realizados en este estudio se centran en estudiar la precisión de los atributos por separado, y el rendimiento del sistema en general sobre varias bases de datos distintas, consiguiendo valores de EER entre 0.13 % y 0.30 %.

■ **Firma:**

En [16] se realiza una comparativa entre el rendimiento de sistemas automáticos de reconocimiento de firma manuscrita y el sistema basado en el análisis de expertos en reconocimiento de firma. Se realizan diferentes pruebas con bases de datos de distintos años, estas bases de datos, además de contener firmas genuinas y falsificadas, también poseen firmas disimuladas, es decir, firmas creadas por el usuario genuino pero con pequeñas modificaciones que hagan dudar de su autenticidad. En cada prueba del sistema de interacción humana se pide a los examinadores que decidan sobre si la firma es genuina, falsificada o disimulada.

Año BD	Media Usuario	Media sistema	Mejor Usuario	Mejor sistema
2001	44.8 %	70.8 %	100 %	93.6 %
2004	66.2 %	70.4 %	97 %	87 %
2005	62 %	59.8 %	100 %	68 %
2006	38.8 %	71.7 %	91 %	92 %

Tabla 1.2: Comparación de los resultados en función del acierto obtenido [16].

En la tabla 1.2 se pueden apreciar los resultados de los experimentos, se consigue un mejor rendimiento de los sistemas automáticos en comparación con los sistemas basados en la decisión del usuario. Respecto a las firmas disimuladas o disfrazadas el estudio muestra en diferentes experimentos, un peor rendimiento cuando son analizadas. Se concluye que los resultados obtenidos muestran el potencial que tienen los sistemas automáticos existentes para dar soporte a las decisiones humanas en el momento del reconocimiento de firma manuscrita.

En [17] se realiza una comparación entre un sistema automático basado en Hidden Markov Models y un sistema basado en análisis humano, por último se realiza una combinación entre ambos para comprobar si se logra aumentar el rendimiento de los sistemas por separado.

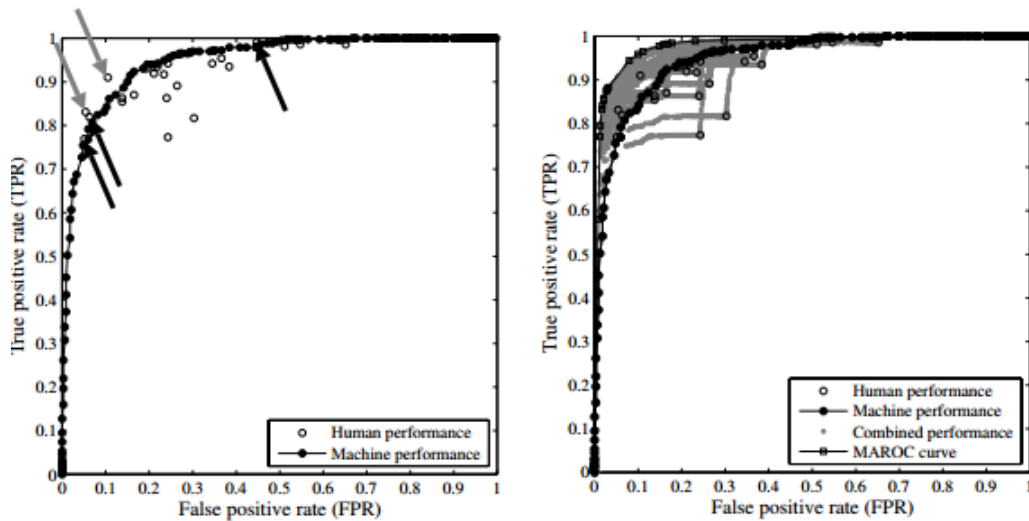


Figura 1.3: Comparativa del rendimiento del sistema humano y del sistema automático [17].

La Fig. 1.3 muestra un rendimiento superior del sistema automático sobre el sistema basado en análisis humano, pero al combinar los dos sistemas, la mejor combinación supera en rendimiento al sistema automático de firma.

En los dos estudios anteriores, aunque los sistemas automáticos, de media, son superiores al rendimiento del análisis de las personas, sí que existen usuarios por encima del rendimiento

del sistema automático. Al analizar el rendimiento de un sistema basado en decisiones humanas, uno de los puntos que se deberá tener en cuenta es la habilidad de los usuarios que están usando la aplicación en reconocer ciertos patrones que existen en las firmas manuscritas.

Por último, en [18] se presenta un set de atributos grafológicos que caracterizan la firma manuscrita, éstos se desarrollarán en profundidad en el siguiente capítulo. Además se realizan análisis del rendimiento de un sistema automático de firma que usa este tipo de características. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1.3.

Característica	FRR	FAR(aleatorias)	FAR(sim. 1)	FAR(sim. 2)	Error medio
Densidad de pixels	2.17 %	1.23 %	3.17 %	36.57 %	7.87 %
Distribución de pixels	1.33 %	1.29 %	2.83 %	37.83 %	7.65 %
Inclinación	4 %	0.72 %	2.50 %	32.33 %	7.92 %
Velocidad	4.33 %	1.27 %	3 %	37.67 %	9.15 %
Forma	6.20 %	0.93 %	2.63 %	35.45 %	11.30 %

Tabla 1.3: Comparación de los resultados en del FAR y FRR para cada tipo de firmas falsificadas. Aleatorias, simuladas de tipo 1, en las que el usuario conoce muy pocas características de la firma a falsificar, y simuladas de tipo 2, en las que existe un mejor proceso de falsificación [18].

1.2. Motivación del proyecto

Los trabajos previamente expuestos demuestran la conveniencia de fusionar sistemas de reconocimiento de firma online y offline. La información estática de la firma (imagen del trazo) contiene información complementaria a la dinámica (funciones temporales asociadas al trazo).

En el presente proyecto se propone dar un paso más y estudiar el rendimiento de un sistema semi-automático de reconocimiento de firma basado en el etiquetado manual de características inspiradas en el trabajo forense y su combinación con los sistemas más competitivos de reconocimiento online.

Por tanto, este proyecto se enmarca en el estudio de la fusión de sistemas online y offline. Existen muchas situaciones en las que una verificación automática de firma personal se hace necesaria, usualmente el supervisor, que no tiene por que tener un conocimiento de Examinador de Documentos Forenses, sólomente controla el proceso de firma, sin embargo debido al comportamiento y a la variabilidad de esta característica biométrica, en ciertas situaciones, cómo en la banca, ventas, notaría ó paquetería el supervisor podría realizar ciertas tareas adicionales que mejoraran el rendimiento del sistema. Estas posibles tareas serían el control y supervisión de la calidad, anotación de características, clasificación de las muestras, o incluso ayuda en la decisión final de la autenticidad de la firma.

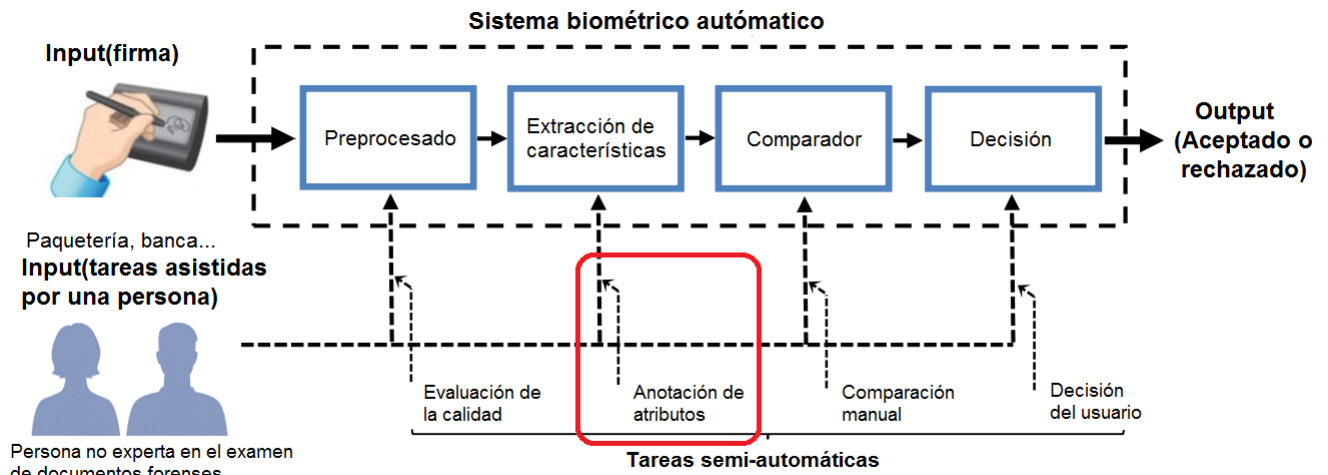


Figura 1.4: Arquitectura del sistema biométrico automático unido al sistema de anotación manual que se quiere desarrollar y poner a prueba, en este proyecto nos centraremos en la notación de características.

Con este nuevo sistema propuesto mostrado en la Fig. 1.4, se conseguirían extraer características online y offline de la misma firma, y se podría realizar una fusión de sistemas.

Este proyecto quiere comprobar si el sistema de notación de características offline por parte del usuario (persona no experta en el peritaje caligráfico) logra mejorar un sistema online, y si no se consiguiera mejorarlo, también se observará el rendimiento cuando se fusionan los sistemas. Se realizará un estudio y análisis de atributos o características caligráficas caligráficas para poder mejorar el reconocimiento automático de firma.

1.3. Líneas de investigación en el campo del reconocimiento de firma en el grupo ATVS

El ATVS cuenta con más de 15 años de experiencia en el análisis automático de escritura y es referente mundial en el reconocimiento basado en firma online. Además de múltiples proyectos con organismos públicos y privados como Guardia Civil o Cecabank, el grupo ha mantenido un elevado nivel de publicación en los congresos y revistas más destacados dentro del área. Algunas de las contribuciones más importantes del ATVS en el campo del reconocimiento de firma manuscrita son:

- **Mejoras algorítmicas:** durante todos estos años el grupo ha participado con tecnología propia en evaluaciones tecnológicas de prestigio internacional y resultados muy competitivos. La estimación de calidad o la selección de características [19] son algunas de las contribuciones más importantes del grupo.

- **Síntesis:** el modelado neuromotor de los procesos de escritura para la síntesis de muestras biométricas ha sido una línea muy destacada dentro del grupo [20][21][22]. La aplicación del modelo kinemático de Plamondon [20], así como su adaptación y mejora para nuevas aplicaciones [21][22], ha sido una importante línea de investigación dentro del grupo. También cabe destacar la combinación de sistemas online y offline (generadas a partir de información online) para mejorar las prestaciones de los sistemas automáticos [4].
- **Interoperabilidad:** la interoperabilidad entre dispositivos de captura y escenarios es fundamental para el desarrollo e implantación de las tecnologías biométricas de reconocimiento de firma. El uso masivo de dispositivos capaces de capturar las señales dinámicas de la firma no ha llevado aparejado un desarrollo de los algoritmos de reconocimiento capaces de adaptarse a estos escenarios cambiantes. El grupo ha hecho un gran esfuerzo no solo en el análisis de esta variabilidad [23], sino en el estudio de propuestas para compensarla [24][25][26][27] así como en la publicación de bases de datos que sirvan a la comunidad científica para avanzar en este campo [28].
- **Nuevos escenarios:** el grupo también ha investigado otros campos de aplicación como el forense. El uso de características dinámicas en el peritaje de la autoría de una firma es un tema cada vez más demandado por expertos y procesos judiciales. La aplicación e-BioSign [29], desarrollada por el ATVS, es pionera en este campo y abre un gran campo de investigación. Además, el grupo ha explorado nuevas aplicaciones del reconocimiento automático de escritura como el reconocimiento en dispositivos móviles a través de garabatos (doodles) o el envejecimiento de las plantillas con el paso del tiempo [5].

1.4. Objetivos y enfoque

Los principales objetivos del presente proyecto se resumen en:

- Estudio de las diferentes técnicas, sistemas y algoritmos empleados en la verificación de la firma manuscrita.
- Estudio de las características grafológicas que utilizan los peritos forenses en el análisis de la firma manuscrita, y estudio de su posible incorporación en el sistema de etiquetado de atributos a desarrollar.
- Evaluación del sistema creado, junto con otros sistemas que sirvan de comparación, y fusión del sistema creado con el resto de sistemas que se utilizan en este estudio.
- Análisis y comprensión de los resultados obtenidos, y de como información estrictamente offline, puede complementar a información online, gracias a la fusión de sistemas de verificación de firma.

1.5. Metodología y plan de trabajo

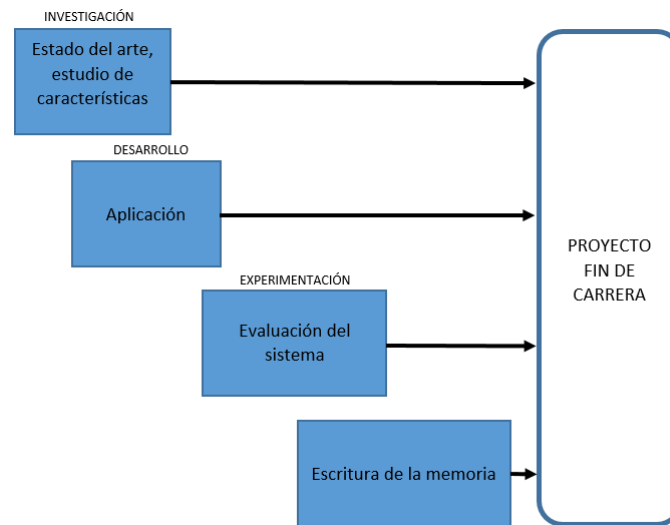


Figura 1.5: Diagrama del plan de trabajo seguido.

Para el desarrollo y consecución de los objetivos marcados en el presente Proyecto Fin de Carrera, se ha seguido un plan de trabajo organizado en el tiempo como muestra la figura 1.5.

- **Estudio del estado del arte:** En esta primera etapa se estudia como se encuentra actualmente la investigación en el campo elegido para el proyecto. En este caso concreto, se ha realizado un estudio sobre las técnicas empleadas en el reconocimiento de firma offline, después y más concretamente se ha estudiado las características que se pueden extraer de forma manual de una firma offline para su posterior aplicación a este proyecto.
- **Estudio del software:** En esta etapa el alumno se ha familiarizado con el software que se va a utilizar para poder desarrollar los elementos oportunos que darán como resultado los experimentos y conclusiones del proyecto. En concreto y como principal herramienta se usará Matlab y su interfaz gráfica (GUI) para el desarrollo de este proyecto.
- **Experimentos y desarrollo de software:** Se ha desarrollado una aplicación programada en Matlab que permite recoger las características que se han estudiado y analizado previamente, una vez guardadas en la BDD, se ha experimentado con ellas para llegar a los resultados del proyecto.
- **Evaluación de resultados y elaboración de la memoria:** Una vez expuestos los resultados, se han analizado brevemente, exponiendo además las conclusiones generales del proyecto. Los análisis, resultados, y estudio del estado del arte serán utilizados para elaborar la memoria.

1.6. Organización de la memoria

El presente trabajo se estructura en cinco capítulos:

- **Capítulo 1: Introducción:** Este capítulo ha presentado una introducción general a la biometría, así como el estado del arte de sistemas basados en interacción humana y fusión de sistemas off-line y on-line. A continuación se ha explicado la motivación para el desarrollo de este proyecto, así como, los objetivos a cumplir durante la ejecución del proyecto, y la estructura de este documento.
- **Capítulo 2: Elección de características para firma manuscrita:** En este capítulo se muestra el estudio y la selección de las características elegidas para el posterior análisis del rendimiento del sistema.
- **Capítulo 3: Desarrollo de la aplicación:** En este capítulo se muestra el proceso de creación de la herramienta que permite analizar de forma manual y, almacenar, las variables de interés en una base de datos.
- **Capítulo 4: Experimentos realizados y resultados:** En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a lo largo de la evaluación de los sistemas analizados.
- **Capítulo 5: Conclusiones y trabajo futuro:** En este capítulo se presentan las conclusiones extraídas del proyecto realizado, así como las futuras líneas a seguir en este ámbito.

2

Elección de atributos para el análisis de firma manuscrita

En el presente capítulo se realiza un estudio de los atributos más importantes que son usados por los examinadores de documentos forenses (FDE por sus siglas en inglés) y su posible aplicación en el sistema de verificación de firma propuesto en este estudio. Se resumen algunas de las técnicas y procedimientos empleados para poder analizar estos atributos en casos reales realizados por examinadores de documentos forenses.

2.1. Introducción

Existen muchos atributos grafológicos disponibles y varias formas de clasificarlos. En [18] se propone un criterio, la clasificación según su uso en escuelas de grafística. La primera llamada "mimic school", donde se tienen en cuenta atributos holísticos como la altura, anchura, inclinación y regularidad, la otra llamada "symbolic school", donde se da más importancia a la interpretación de cada símbolo, con atributos como el orden, la proporción, la dimensión, la presión y la forma.

Estos atributos grafológicos están reconocidos por diversos organismos [30] y examinadores forenses, y publicados en manuales de grafística y artículos científicos. En la tabla 2.1 se recogen atributos válidos para el proceso de examinación de documentos y firma manuscrita forense, además de proponer una clasificación por grupos según sus cualidades.

	Caracteres iniciales	Tipo de escritura	
	Posición del bolígrafo	Uso de la mano derecha/izquierda	
	Trazos entrada/salida	Dirección del trazo	
	Embelledores	Habilidad en el trazo	
	Letras mayúsculas	Velocidad del trazo	
	Diacríticos y puntuación	Libertad de ejecución	
	Pen-ups	Calidad del trazo	
	Espaciado de caracteres	Producción del trazo	
	Abreviaturas	Alteraciones intencionadas	
	Conectores	Trazo tembloroso	
	Simplificación	Legibilidad	
	Disposición de caracteres	Presión	
	Posición	Énfasis	
	Proporción	Paradas repentinas	
	Tamaño	Dudas	
	Inclinación	Retoques	
	Forma	Cambios de velocidad	

Tabla 2.1: Atributos de la firma, clasificados por grupos. En **verde** se muestran los atributos clasificados como geométricos. En **azul** se muestran los atributos clasificados como rasgos que modifican y alteran el trazo. En **rojo** se muestran los atributos clasificados como características específicas para el trazo de la firma. El resto de atributos se agrupan en el grupo de modificadores de los elementos y caracteres de la firma.

Los atributos correspondientes a las características del trazo son utilizados y analizados minuciosamente por expertos forenses en documentos o firmas manuscritas que así lo requieran, dependiendo de como se deposite la tinta sobre el papel, se puede extraer información que luego será válida e importante para la decisión final sobre la autenticidad de la firma o documento. Para este estudio las firmas analizadas y etiquetadas se muestran como imagen estática de firmas on-line, por tanto los atributos de este grupo serán complicados de introducir en el sistema a crear.

Los atributos correspondientes a modificadores y alteradores del trazo son determinantes para determinar la autenticidad de la firma a analizar. Paradas repentinas, acumulaciones de tinta no deseadas, trazo tembloroso, retoques, y dudas al componer la firma, son muy comunes entre falsificadores no experimentados. Este bloque de atributos será considerado en el sistema,

ya que la creación de la imagen estática de la firma on-line tiene suficiente calidad como para evaluar este tipo de errores.

Los atributos considerados geométricos también serán altamente considerados en este estudio por su facilidad y rapidez de clasificación. Estos atributos caracterizan a la firma de una forma global, dotándola de unas cualidades que la diferencian claramente del resto de firmas.

Por último, respecto a los atributos que modifican elementos o caracteres de la firma, algunos son observables en documentos extensos, como simplificaciones, abreviaturas o letras mayúsculas, se hace necesario analizar un patrón durante una cierta extensión de la escritura del individuo para poder caracterizarlo. Sin embargo el resto de atributos que se muestran para este grupo también serán considerados para formar parte del sistema.

2.2. Análisis caligráfico de la firma

La firma [31] de cada persona es un gesto diferenciado de cualquier otra firma de otro individuo, debido a movimientos que responden a un hábito. Este gesto tiende a realizarse de forma natural, y sin esfuerzo, esto hace que las firmas de una misma persona sean muy similares entre sí. Cuando se analicen algunos de los atributos nombrados en la tabla 2.1 se observará que las rasgos, como por ejemplo, la forma, composición, proporción, posición, etc. son coincidentes, como se puede apreciar en la Fig. 2.1.

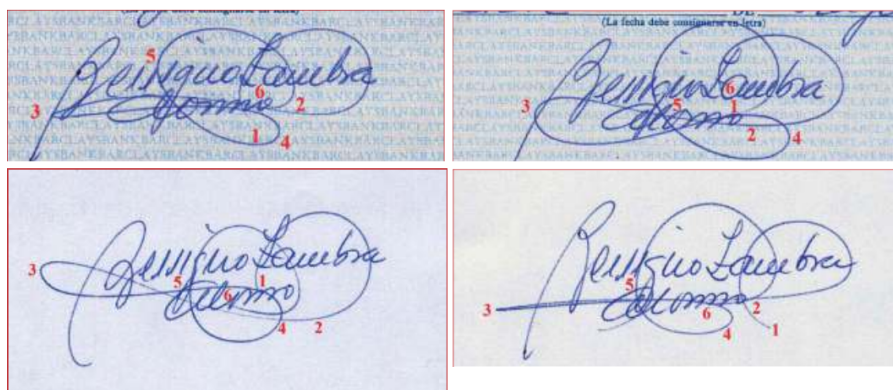


Figura 2.1: Análisis forense de 4 firmas indubitadas de una misma persona [31]

La Fig. 2.1 muestra 4 firmas espontáneas y auténticas, presentan semejante composición, idea de trazado, morfología, velocidad y presión. También tienen una determinada forma, agilidad en el trazo, y separación entre caracteres. La firma se compone de caracteres bien diferenciados y legibles con una rúbrica final formada por trazos redondeados y amplios. La firma se encuentra en el centro del espacio delimitado para realizarla, y se aprecia que su eje horizontal tiene un leve ángulo de inclinación. El formato es caligráfico y los caracteres de la firma están ligeramente inclinados a la derecha. Los conectores entre los caracteres de la firma son variables, el nombre no tiene uniones y los caracteres de los apellidos si están conectados. Los caracteres presentan

formas redondeadas. La velocidad de la escritura es rápida y la presión usada es firme y en relieve.

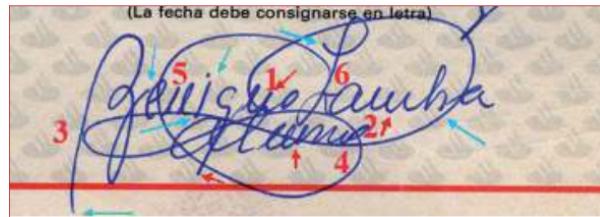


Figura 2.2: Análisis forense de una firma dubitada [31]

En la Fig. 2.2 se presenta una firma dubitada a analizar, comparándola con el anterior grupo de 4 firmas dubitadas que se han presentado. Al compararlas, presentan una composición, idea de construcción, formato de caracteres y rubrica y ejes similares. Sin embargo, también existen elementos que diferencian claramente la firma dubitada del resto. Respecto al carácter "B", el grado de inclinación es significativamente distinto y la proporción de su trazo es distinta. En la mayoría del resto de los caracteres, la composición, morfología, puntos de entrada/salida y pequeños trazos característicos, se cambian. Respecto a la rúbrica, la posición de la misma es diferente y los óvalos sufren un cambio en la forma. Las firmas dubitadas presentan tensión y agilidad, por el contrario en la firma dubitada se puede apreciar la falta de éstas. Además existen pausas en algunos cambios de dirección, donde la tinta se ha acumulado, indicado por las flechas rojas, y una forma abrupta de iniciar y finalizar las letras, señalado con flechas azules.

A pesar de ser una buena imitación, los puntos señalados anteriormente permiten asegurar que la firma es falsa.

2.3. Atributos elegidos para el estudio

Debido al gran numero de atributos existentes, ya nombrados, se han escogido para el estudio un grupo reducido, atendiendo a su importancia, a la facilidad que tienen para ser recogidas de forma manual y subjetiva y de ser, posteriormente, integradas en una base de datos para analizar su eficacia en la verificación de firma manuscrita.

- **Alineamiento con la base de referencia:** Este es un elemento a tener en cuenta durante la comprobación de las firmas debido a que el falsificador, en un intento de mantener de forma adecuada el tamaño y la forma de una firma, a menudo no tiene en consideración la línea imaginaria que va a lo largo de la base de la firma y que la caracteriza, dándole una inclinación específica [32], (Fig. 2.3).

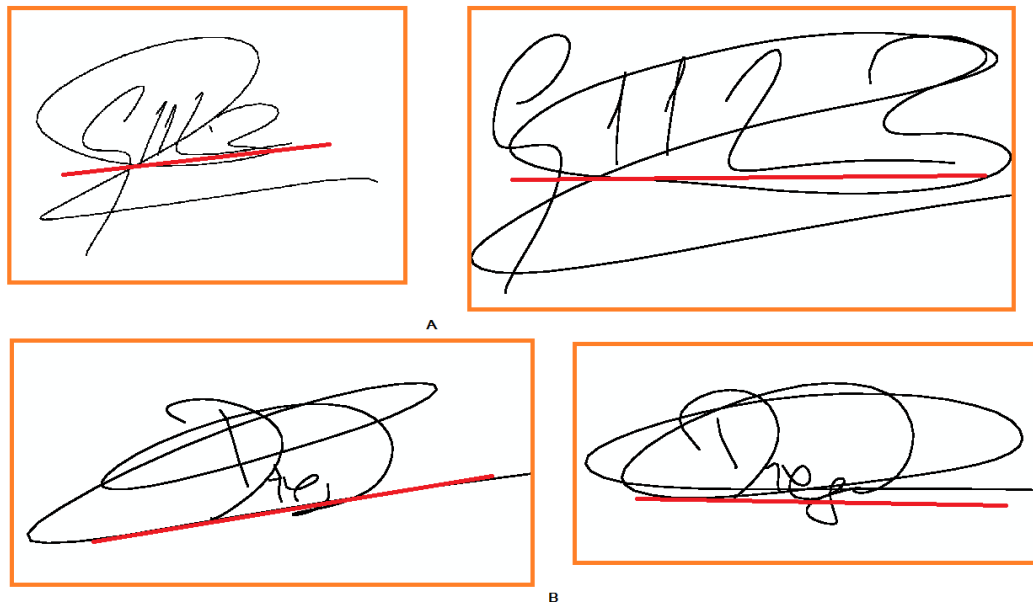


Figura 2.3: Ángulo de la firma con respecto a línea horizontal imaginaria. Las figuras A y B muestran dos posibles resultados del alineamiento para firmas del mismo usuario, (izd. genuinas der. falsificaciones).

Esta inclinación puede adoptar cualquier ángulo existente e incluso ser variable, como muestra la Fig. 2.4.

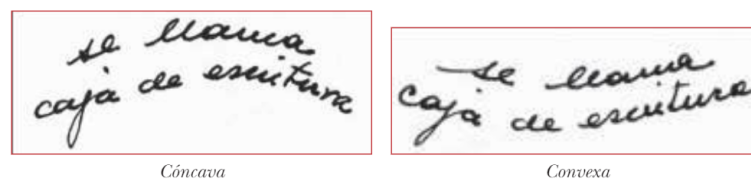


Figura 2.4: Ángulo de la firma con respecto a línea horizontal imaginaria variable,[31].

■ Calibre:

Esta característica hace referencia al tamaño de la firma como conjunto, describe la relación entre la altura y la anchura total [18], la firma falsificada es normalmente de mayor tamaño que la firma original, ya que normalmente el falsificador se toma más tiempo en observar y reproducir la firma de lo que el usuario genuino ha tomado [32], (Fig. 2.5).



Figura 2.5: Se diferencian 3 tipos de calibre, reducido (A), medio (B) y grande (C), [18].

■ **Forma:**

Esta característica se asocia con el modelo gráfico empleado para realizar la firma, el tipo de trazo que prevalece en ella [18], (Fig. 2.6).



Figura 2.6: Tipos de formato que adopta la firma. (a) Redondeada. (b) Vertical. (c) Caligráfica. (d) Vertical y horizontal. Si en la firma predominasen los trazos horizontales la clasificación de forma sería horizontal.

■ **Orden:**

El orden de la firma se asocia con la distribución gráfica de los elementos gráficos o caracteres de la misma, (Fig. 2.7).

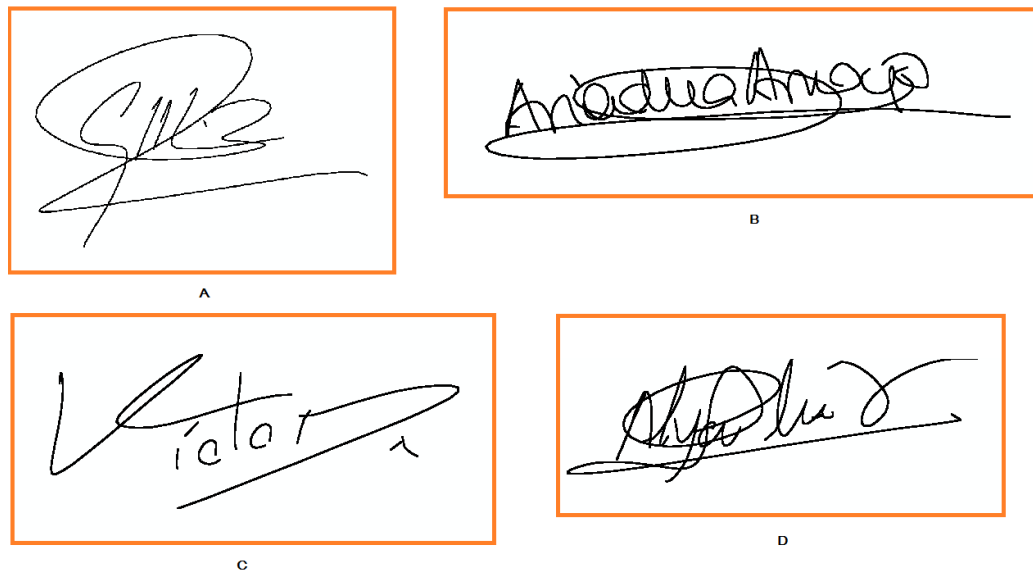


Figura 2.7: El orden evalúa el nivel de claridad y legibilidad del texto. (a) Claro. (b) Concentrado. (c) Espaciado. (d) Confuso.

■ Proporción:

La proporción esta ligeramente unida al calibre, pero en este caso en vez de analizar la firma de forma global, se analiza carácter a carácter para observar la relación de tamaño entre ellos mismos, se relaciona con la simetría de la escritura, (Fig. 2.8).



Figura 2.8: La proporción exige analizar la relación de tamaño de cada carácter, en el caso (a) se puede observar que todos los caracteres guardan un relación muy parecida, en el caso (b) existen algunos caracteres que se desvían un poco de la media, por último en el caso (c) se muestra una firma en la que no se guarda la proporción en todos los caracteres de la misma.

■ **Inclinación:**

La inclinación se asocia con el ángulo que tienen los diferentes caracteres de la firma. Al igual que en el ángulo global de la firma, puede tomar cualquier ángulo de inclinación. Se puede clasificar según la dirección de la inclinación predominante, o también según su grado de inclinación. Esta característica puede estar condicionada por los hábitos de escritura del falsificador o incluso por la mano que use al falsificar la firma, (Fig. 2.9).



Figura 2.9: El par de figuras A y B muestran diferentes inclinaciones de los mismos caracteres de firmas del mismo usuario, (izd. genuinas der. falsificaciones).

Esta inclinación característica de cada grafo no tiene porque ser constante en toda la firma, como muestra Fig. 2.10.

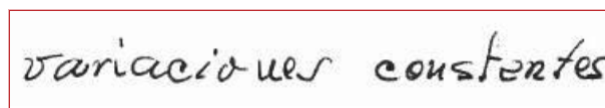


Figura 2.10: Las inclinaciones de los caracteres pueden ser variables a lo largo de la firma,[31].

■ **Signos de puntuación:**

Es importante tener en cuenta esta característica ya que el falsificador, inconscientemente, puede introducir aspectos de su propia escritura en la firma falsificada. Ausencia de signos de puntuación cuando en la firma original si se encuentran, modificaciones en los signos o

trazos característicos de cada letra o incluso colocar estos trazos en lugares distintos a la firma original, (Fig. 2.11).



Figura 2.11: La ubicación y existencia de los signos de puntuación pueden variar en distintas firmas de un mismo usuario. En (a) se muestra como los dos signos existentes han desaparecido, en (b) se muestra como el signo de puntuación existente se ha desplazado, (izd. genuinas der. falsificaciones).

■ Longitud de trazos característicos:



Figura 2.12: Las figuras A y B muestran un posible análisis de trazos que se consideran importantes en las firmas y cómo sus longitudes pueden variar en firmas del mismo usuario, (izd. genuinas der. falsificaciones).

La firma también puede caracterizarse según la longitud de diversos trazos de entrada/sa-

lida, embellecedores o tramos verticales que proceden de los caracteres que componen la firma,[33], (Fig. 2.12).

- **Espaciado de los caracteres de la firma:**

Esta característica hace referencia a la posible conectividad que existe entre los diferentes caracteres de la firma, (Fig. 2.13).



Figura 2.13: Las figuras A y B muestran un posible análisis para los espacios que existen en las firmas y cómo su tamaño puede variar en firmas del mismo usuario, (izd. genuinas der. falsificaciones).

- **Embellecedores:**



Figura 2.14: Embellecedores de una firma. Rúbricas y puntos de entrada y salida de los caracteres.

En la Fig 2.14 se puede observar como el falsificador no ha sido capaz de reproducir las

características de los embellecedores que completan la firma. En (a) se muestra una rúbrica con trazos estrechos y afilados para la firma genuina y trazos amplios y redondeados para la firma falsificada. En (b) se muestra otro ejemplo en el que la anchura, simetría y ángulos son modificados.

Los trazos que normalmente finalizan o comienzan la firma y que no forman parte de los caracteres que la componen, se denominan embellecedores, y durante el proceso de falsificación es posible que el falsificador modifique los ángulos, anchuras o simetrías que puedan tener estos trazos tan característicos, (Fig. 2.14).

■ **Análisis del trazo:**

Analizando únicamente el trazo, sin considerar caracteres, zonas, o la firma en conjunto, se pueden extraer varias características útiles para el análisis de la firma manuscrita [32]:

- **Tendencia de trazos curvos a convertirse en ángulos:**

El falsificador al tratar de conseguir la correcta forma de los trazos curvos presentes en la firma, en algunos casos usará una velocidad menor a la original, dando lugar a un trazo más anguloso debido a que el intervalo de tiempo para realizarlo es mayor, también podría darse al contrario, formar un trazo curvo a partir de uno anguloso.

- **Retoques y correcciones:**

Se suelen producir una vez que la falsificación se ha finalizado, se pueden descubrir en zonas en las que existen líneas más gruesas o que no siguen el trazo continuo del bolígrafo.

- **Dudas y temblores:**

Al igual que los retoques y las correcciones, si surgen dudas durante el proceso de falsificación, los trazos podrían tener zonas más gruesas, donde la tinta se haya acumulado, otra forma de ver si han existido dudas durante la creación de la firma es tener en cuenta el temblor del trazo.

- **Caracteres inventados:**

El falsificador, al encontrarse firmas con un orden confuso, en las que los caracteres que la forman están muy concentrados o que incluso los grafos no adoptan la forma de un carácter conocido, puede que adapte esos trazos de forma racional para formar la firma, sobre todo, en el caso de que el falsificador conozca el nombre del usuario genuino.

La figura 2.15 muestra las características descritas en la sección del análisis del trazo.

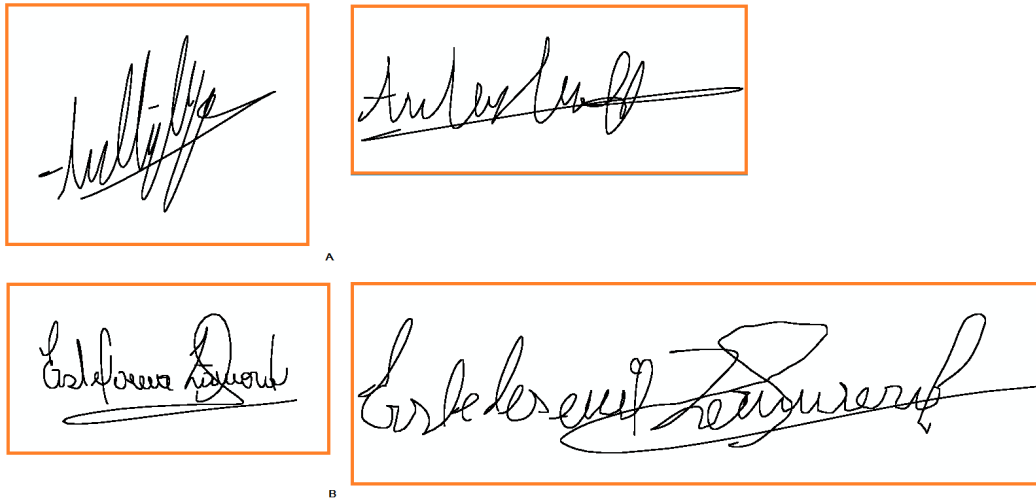


Figura 2.15: Analizando el trazo del par de figuras A y B se pueden apreciar las 4 características que se acaban de mencionar.

3

Desarrollo de la aplicación

En el capítulo 2 se ha mostrado el estudio de los atributos que se han considerado más importantes para este proyecto.

En el presente capítulo se presentarán dos puntos principales, una explicación de la aplicación creada para etiquetar la base de datos de atributos offline, extraídos manualmente, y la explicación de la composición de la base de datos, como están distribuidos los distintos atributos grafológicos y que opciones de clasificado se dan dentro de la aplicación.

3.1. Introducción

La aplicación, programada con la interfaz gráfica de MATLAB, es un medio para poder cuantificar, de forma manual, y subjetiva, cada atributo de cada firma.

La figura 3.1 muestra el diseño conceptual de la herramienta. La aplicación tiene un menú de atributos a analizar en cada firma, extraídos del previo estudio realizado en el anterior capítulo. Dentro de cada atributo se encuentran las diversas opciones de cada uno, donde el etiquetador deberá elegir una de ellas para caracterizar ese atributo en particular. Además en cada atributo se incluye una referencia, donde se muestra una breve explicación del análisis que se pretende seguir en cada atributo, ya que la aplicación será usada por personas inexpertas en el análisis de los rasgos de la firma manuscrita. Por último se ha introducido ciertas herramientas para el manejo de la aplicación, para los atributos en los que existe algún cálculo numérico se ha colocado un botón de reset o borrado por si hubiese necesidad de volver a comenzar las medidas, y también se ha colocado un botón de guardado, para parar en cualquier momento el etiquetado

de las firmas, y retomar la clasificación por la firma en la que se detuvo el etiquetador.

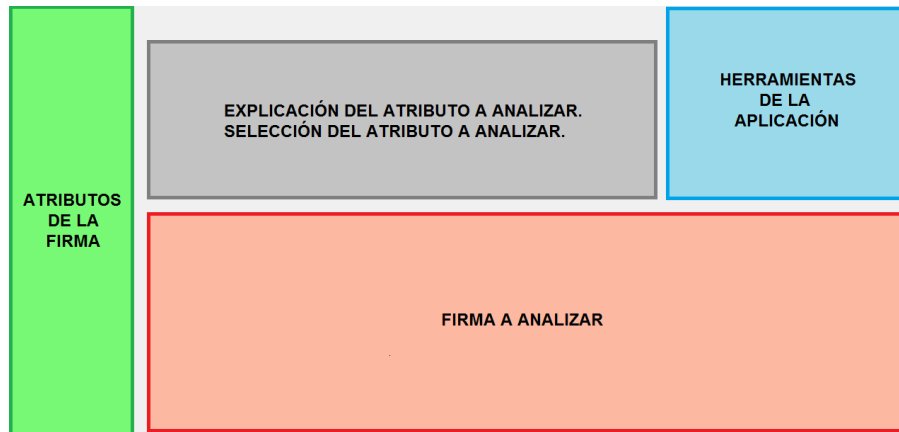


Figura 3.1: Diseño conceptual de la herramienta.

La Fig. 3.2 muestra la aplicación que se usará el etiquetador para analizar cada atributo de cada firma, en ella se puede observar los bloques anteriormente explicados y que además muestra la Fig. 3.1, el bloque de atributos a la izquierda, en la zona central la selección disponible para atributo y debajo de ella la firma a analizar, y por último en la zona de la derecha, los botones que mejoran el uso de la aplicación.

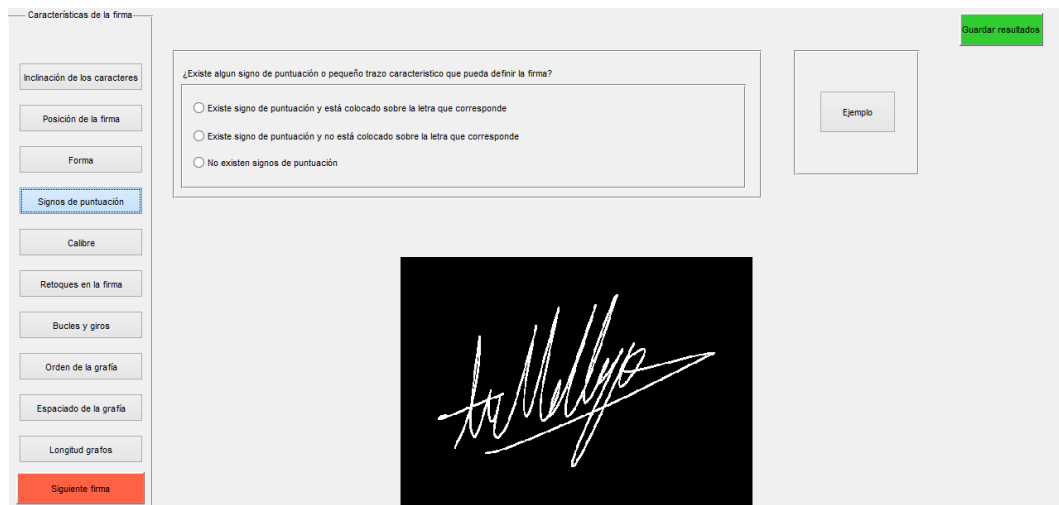


Figura 3.2: Diseño final de la herramienta.

Las firmas de la base de datos que se muestran en la aplicación son firmas online. Se genera una representación binaria a partir de las coordenadas x e y de la firma y el vector de presión. La imagen se dilata gracias a operaciones morfológicas para conseguir un trazo más realista. Por tanto, la imagen mostrada al etiquetador es una representación estática de la información dinámica disponible.

3.2. Etiquetado de los atributos elegidos

La aplicación se compone de 10 atributos distintos, anteriormente estudiados y seleccionados en el capítulo 2. Estos 10 atributos dan lugar, como mínimo, a 16 valores distintos en cada firma. Al etiquetar la base de datos de forma manual, todo valor en la base de datos será subjetivo. Se ha decidido que los valores que corresponden al atributo del calibre global de la firma (ver figura 2.5), sean calculados de forma automática debido a su simplicidad. Se ha realizado una clasificación en dos grupos diferenciados según el método en el que cada atributo es clasificado y guardado en la base de datos del sistema de Anotación manual de atributos.

A continuación se presentará un caso práctico, en el que el etiquetador decide y clasifica una firma de la base de datos BiosecureID [34]. La firma analizada se muestra en la Fig. 3.3.

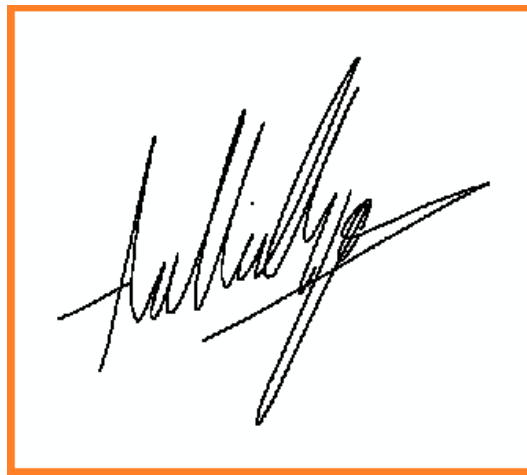


Figura 3.3: Firma a analizar por el etiquetador.

- **Atributos categóricos:** en este grupo se encuentran los atributos a los que se les asigna un valor discreto según la selección del etiquetador.
 - **Forma (A1):** para poder seleccionar la opción más adecuada el etiquetador tendrá que fijarse en la composición general de la firma. Para completar este campo se ha de elegir entre forma redondeada, vertical, horizontal, vertical y horizontal, caligráfica o desconocida, dependiendo de la prevalencia de trazos de uno de los estilos nombrados. Para la firma analizada (Fig. 3.3) el etiquetador ha decidido, debido al gran número de trazos verticales, seleccionar la opción Vertical (Fig. 3.4).

Una captura de pantalla de una interfaz de usuario. En la parte superior, el texto "Forma de los caracteres de la firma." está en un recuadro gris. Debajo, hay una fila de seis opciones de selección por radio: "Redondeada", "Vertical", "Horizontal", "Vertical y horizontal", "Caligráfica" y "Desconocida". La opción "Vertical" está seleccionada, lo que se indica por un punto negro dentro de su círculo.

Figura 3.4: Opciones del atributo forma

- **Proporción (A2):** con este atributo se ha de decidir sobre la proporcionalidad de los caracteres de la firma, evaluando todos los caracteres como un conjunto, comprobando por tanto, si la firma es considerada proporcional, ligeramente desproporcionada o irregular. Debido a que existen bastantes caracteres que no guardan una proporción similar entre ellos, el etiquetador ha decidido seleccionar la opción Irregular (Fig. 3.5). Además se muestra información relativa a la altura y anchura máxima de la firma que el etiquetador puede usar a la hora de escoger una etiqueta.

Figura 3.5: Opciones del atributo proporcionalidad.

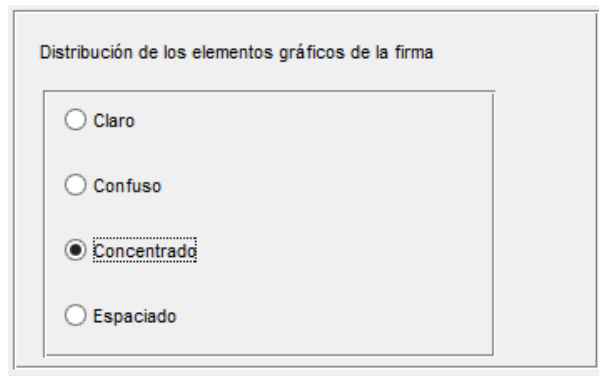
- **Bucles y giros de los caracteres (A3):** para poder clasificar este atributo el etiquetador deberá fijarse en la forma de la mayoría de los giros y bucles que existen en los caracteres, y decidir entre giros afilados, giros redondeados o en caso de no poder decidir entre uno u otro, desconocido. En la Fig. 3.6 se muestran ejemplos de este atributo.



Figura 3.6: En esta imagen se puede observar como los trazos afilados de la firma genuina (izd.) se han transformado en trazos más suaves y redondeados en la firma falsificada (der.).

- **Orden (A4):** para este atributo el etiquetador tendrá que decidir sobre el orden de la firma en conjunto, habrá que observar la claridad de los caracteres gráficos de la misma. En este atributo, los elementos de la firma estarán distribuidos de una forma clara, confusa, concentrada o espaciada. En este caso el etiquetador ha decidido seleccionar Concentrada que aunque los caracteres son perfectamente legibles, están demasiado juntos unos de otros como para seleccionar otra posible opción como Clara

(Fig. 3.7).



Distribución de los elementos gráficos de la firma

☐ Claro

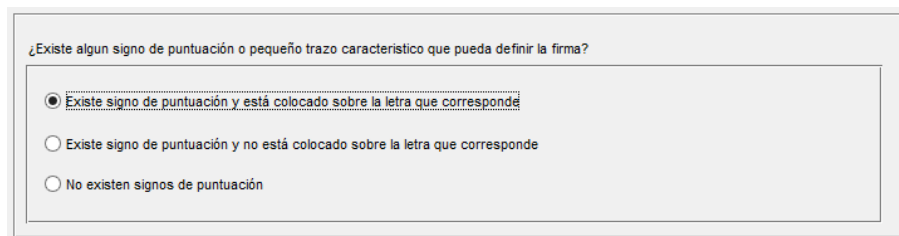
☐ Confuso

☒ Concentrado

☐ Espaciado

Figura 3.7: Opciones del atributo orden.

- **Signos de puntuación (A5):** en este atributo, el etiquetador deberá estar atento a signos de puntuación y signos diacríticos que estén presentes en la firma así como su posición relativa a los caracteres de la misma. También se deberán tener en cuenta pequeños trazos que puedan diferenciar claramente a la firma, como por ejemplo trazos de entrada/salida de las letras, los cuales a menudo son modificados por el usuario genuino de la firma, adquiriendo una forma muy característica. El etiquetador ha identificado los dos trazos clave que coinciden con otras firmas del mismo usuario, el carácter A y el signo de puntuación sobre el carácter i, por tanto ha seleccionado "Si existen signos de puntuación" (Fig. 3.8).



¿Existe algún signo de puntuación o pequeño trazo característico que pueda definir la firma?

☒ Existe signo de puntuación y está colocado sobre la letra que corresponde

☐ Existe signo de puntuación y no está colocado sobre la letra que corresponde

☐ No existen signos de puntuación

Figura 3.8: Opciones del atributo signos de puntuación.

- **Rúbrica (A6,A7,A8):** éste atributo se ha dividido en 3 valores diferenciados, el etiquetador deberá estar atento a cambios en la curvatura, anchura y simetría de bucles y embellecedores de la rúbrica. Estos 3 valores serán calculados, junto a A3 (Bucles y giros de los caracteres), dentro de una misma ventana de la aplicación denominada "Bucles y giros". Para estos dos atributos, bucles presentes en los caracteres y bucles presentes en la rúbrica, el etiquetador ha decidido que los giros presentes en los caracteres son suficientemente afilados para seleccionar "giros afilados". Con respecto a la rúbrica al tener un eje de simetría con giro afilado y pequeño, el etiquetador ha seleccionado las opciones correspondientes (Fig. 3.9).

Rúbrica
En esta parte de la firma se pueden sacar varias características relacionadas con la forma de la rúbrica

☒ Simétrica ☐ Asimétrica ☐ Desconocida

☒ Bucles delgados ☐ Bucles anchos ☐ Desconocido

☐ Bucles redondeados ☒ Bucles afilados ☐ Desconocido

Caracteres

☐ Giros redondeados ☒ Giros afilados ☐ Desconocido

Referencia

Figura 3.9: Opciones del análisis del trazo(curvas y ángulos en bucles).

- **Dudas (A9):** con este atributo lo que se pretende es que se analice únicamente la formación del trazo de la firma. Se tendrá que decidir si existen dudas, imperfecciones o retoques o incluso caracteres inventados en la firma, de la forma que resume el último atributo considerado en 2, el análisis del trazo. El etiquetador no ha detectado temblores, dudas, parones durante la realización del trazo o caracteres distintos a otras firmas del mismo usuario, por tanto el etiquetador ha seleccionado la opción "No se aprecian dudas o retoques"(Fig. 3.10).

Durante el proceso de creación de la firma, ya sea por parte del usuario genuino o por el falsificador puede que se comentan errores o existan dudas durante el proceso.

- Los retoques de la firma son ocasionados por intentar mejorar la firma ya completa. Pueden ser localizados si se buscan trazos que no sigan el flujo continuo del bolígrafo.
- Las dudas en la creación del trazo se pueden encontrar en forma de puntos donde la tinta se ha acumulado, o en un trazo tembloroso y poco seguro.

¿Existen en la firma estas características anteriormente mencionadas?

☐ Se aprecian dudas o retoques ☒ No se aprecian dudas ni retoques ☐ Imposible de determinar

Figura 3.10: Opciones del análisis del trazo(dudas, retoques, temblores y caracteres inventados).

- **Atributos medidos:** en este grupo se encuentran los atributos a los que se les asigna un valor (en pixels) que representa una longitud determinada.

- **Alineamiento de la firma (A10):** en este campo se analiza el ángulo global de la firma, en el anterior capítulo se ha visto como las firmas pueden formar varios ángulos con respecto a la base de referencia, (ver figura 2.4), en este caso se ha decidido que por simplicidad y rapidez en la caracterización de este atributo se le asigne un único ángulo como muestra la Fig. 3.11.

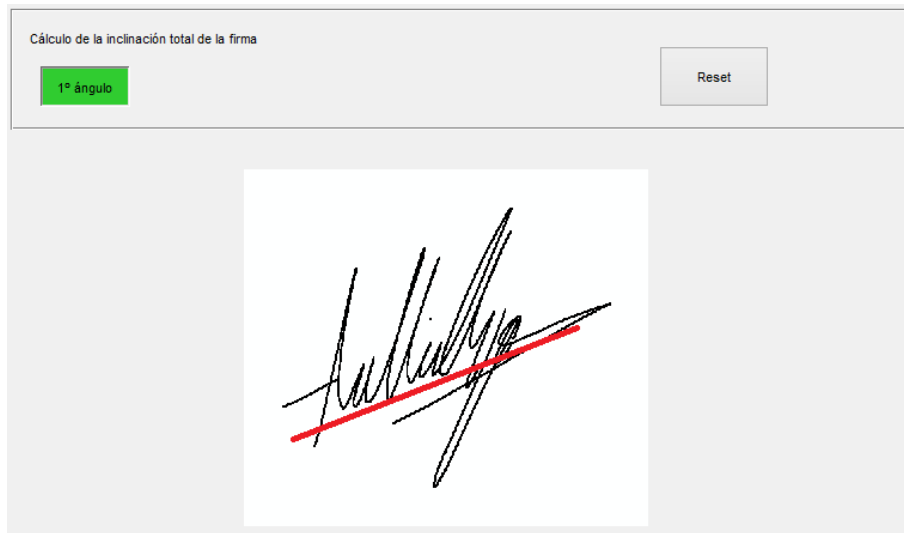


Figura 3.11: Cálculo del angulo global de la firma

- **Inclinación de caracteres (A11):** en este campo se muestra la inclinación de los trazos, como muestra la figura 2.9, en este caso se ha dado la opción de calcular hasta 3 ángulos, lo que da como máximo 4 valores distintos, 3 ángulos pertenecientes a cada trazo y un 4 ángulo que es la media de los anteriores calculados, (Fig. 3.12).

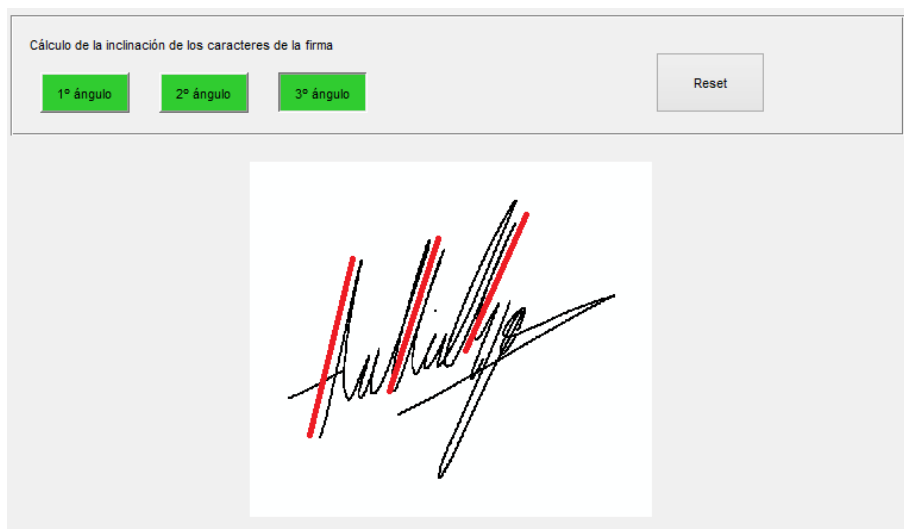


Figura 3.12: Cálculo de ángulos de cada trazo

- **Longitud de los trazos (A12):** en este campo se analiza información relativa a la longitud de los trazos más característicos de la firma, en este caso se ha dado la opción de calcular un máximo de 3 longitudes de trazos de la firma como muestra la Fig. 3.13.



Figura 3.13: Cálculo de las distancias de los grafos más característicos de la firma.

- **Espaciado de caracteres (A13):** en este campo se analiza información relativa a la separación entre caracteres de la firma, se ha dado la opción de calcular un máximo de 5 longitudes entre caracteres, como muestra la Fig. 3.14.



Figura 3.14: Calculo de las distancias entre cada carácter.

Los siguientes y últimos 3 valores medidos se ha decidido que se obtengan de forma automática para que el etiquetado de cada firma sea más rápido. Estos 3 valores pertenecen al atributo Calibre, (Fig. 2.5). Al etiquetar el atributo A2 (Proporción), estos 3 valores serán calculados automáticamente.

- **Altura (A14):** distancia en el eje y de la firma, para su cálculo se buscan los dos puntos que dan una distancia mayor.
- **Anchura (A15):** distancia en el eje x de la firma, para su cálculo se buscan los dos puntos que dan una distancia mayor.

- **Calibre (A16):** proporción entre la altura y la anchura.

3.2.1. Comparación y análisis caligráfico de firmas

Al igual que en el estudio caligráfico presentado en el anterior capítulo, [31], el etiquetador podrá hacer su propio análisis caligráfico de cada firma. Para ello usará la aplicación creada y que se ha explicado en profundidad en este mismo capítulo.

En la Fig. 3.15 se muestra la información que quedaría guardada en la base de datos del sistema de Anotación manual y la comparación con una firma falsificada para ese usuario (skilled forgeries).



Figura 3.15: Comparación de los datos recogidos en la BDD para 2 firmas de un mismo usuario. En color rojo se muestran los atributos no coincidentes. En color verde se muestran los atributos coincidentes.

Al igual que en el estudio presentado anteriormente las dos firmas comparten ciertos rasgos, que el etiquetador ha considerado que son iguales:

- La forma (A1) predominante de los caracteres de la firma es vertical.
- Los giros presentes en los caracteres (A3) de ambas firmas son redondeados.

- La inclinación de los caracteres (A11) elegidos para esta firma dan resultados muy similares entre sí.

En este ejemplo, sin embargo, en los demás atributos el etiquetador ha considerado y apreciado diferencias con lo que los atributos han recibido valores distintos, tanto en atributos categóricos como medidos:

- A pesar de que el primer caracter, A, esta correctamente escrito, el etiquetador considera que la falta del signo de puntuación sobre el caracter i era importante y ha seleccionado **"No existen signos de puntuación"** (A5).
- Observando la rúbrica de la firma B sólo se aprecia una línea recta (muy distinta comparada con la firma A). Para los atributos A6, A7 y A8 debido a que no existen giros o bucles en la rúbrica, el etiquetador ha seleccionado **"Desconocido"** en los 3 casos.
- Los caracteres en ambas firmas tienen diferentes tamaños, pero su proporcionalidad no es muy distinta, por tanto el etiquetador ha elegido **"Ligeramente variable"** para el atributo A2.
- En el atributo A4, se ha decidido que los caracteres se encuentran distanciados unos de otros, seleccionando **Espaciado**.
- Debido a la ausencia de signo de puntuación en el carácter i, un trazo tembloroso y que los últimos elementos de la firma no corresponden con los mismos en otras firmas del mismo usuario ya analizadas, el etiquetador ha considerado que la persona **tuvo dudas** al realizar la firma (A9).
- Con respecto a los atributos medidos, el etiquetador ha analizado y completado estos atributos de una forma similar a los mostrados en el apartado anterior de este capítulo, consiguiendo para A11 unos valores muy cercanos en ambas firmas y valores muy distintos para el resto de atributos (A10), (A12), (A13).

Debido a la naturaleza subjetiva de este sistema, el rendimiento de éste variará con cada etiquetador. El rendimiento cambiará según la habilidad para distinguir ciertos patrones, trazos y puntos clave de las firmas manuscritas. También podrá influir la herramienta usada para clasificar cada firma, el etiquetador deberá estar acostumbrado a usarla. Por último, el rendimiento variará según la habilidad de los falsificadores y la complejidad de las firmas a falsificar. En la Fig. 3.16 se muestra otro par de firmas que el etiquetador ha caracterizado.



Figura 3.16: Comparación de los datos recogidos en la BDD para 2 firmas de un mismo usuario. En color rojo se muestran los atributos no coincidentes. En color verde se muestran los atributos coincidentes.

En este caso, al tratarse de una firma de fácil imitación (trazo simple, sin signos de puntuación o trazos característicos y con rúbrica sencilla), existen más atributos observados y analizados por el etiquetador que han coincidido en ambas firmas:

- El atributo Forma (A1) adquiere el mismo valor en ambas firmas.
- El etiquetador considera que ambas firmas poseen caracteres proporcionales en tamaño (A2)
- Los giros presentes en los caracteres (A3) en ambas firmas son, en su mayoría, redondeados.
- Los caracteres que componen la firma están dispuestos de una forma clara (A4).
- En ambas firmas no existen signos de puntuación (A5).
- Para los rasgos que se pueden extraer de la rúbrica, el A6 coincide en ambas firmas, ya que las dos tienen un eje de simetría muy similar.
- Nuevamente, la inclinación de los caracteres (A11) vuelve a ser muy similar en ambas firmas.

Como en el anterior ejemplo, aún siendo las dos firmas similares entre sí, el etiquetador ha encontrado ciertas diferencias entre ellas:

- Respecto a la rúbrica, el atributo A7 y A8 es distinto, los giros producidos en ella, son mas anchos y redondeados en la segunda firma, comparándola con la primera.
- El etiquetador en el momento de etiquetar esta firma decidió que el autor había tenido dudas (A9) en su ejecución debido a que el trazo de la firma B es más grueso que la firma B.
- Respecto a los restantes atributos medidos, A10, A11, A12 las medidas obtenidas ofrecen una diferencia notable entre ellas.

4

Protocolo experimental y resultados

En el presente capítulo se presenta el protocolo experimental seguido así como los resultados más destacables que se han obtenido.

4.1. Base de datos

Para la realización de los experimentos se ha usado un subconjunto de las 132 firmas distintas disponibles en la base de datos BiosecureID [34], cada usuario posee un total de 16 firmas genuinas, capturadas en 4 sesiones distintas, y 12 falsificaciones, capturadas en 3 sesiones distintas, con un total de 2112 firmas genuinas y 1584 firmas falsificadas. En este estudio, se ha analizado un subcorpus formado por los 30 primeros usuarios de la base de datos. En total, para los experimentos desarrollados en este proyecto se disponen de 480 firmas genuinas y 360 falsificaciones que suponen un total de 10920 atributos conseguidos de forma manual.

4.2. Protocolo experimental

La arquitectura desarrollada en este proyecto, guarda una relación con la arquitectura para un sistema general biometrico, explicado en el segundo capítulo, se muestra en la Fig. 4.1.

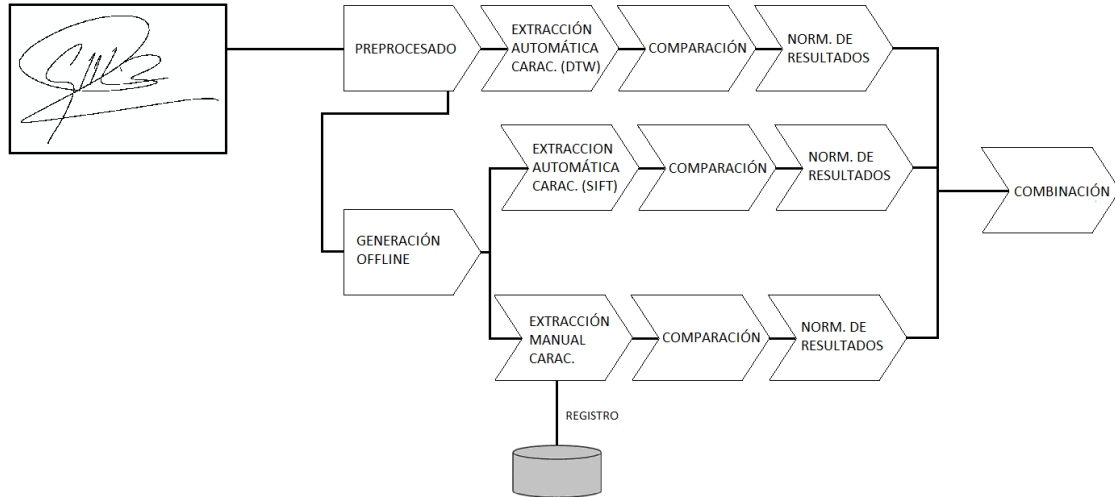


Figura 4.1: Arquitectura que resume el estudio realizado.

A continuación se resumen los puntos generales más importantes de la arquitectura presentada:

- **Firmas de entrenamiento:** para los 3 sistemas empleados en este proyecto se utilizan las 4 muestras correspondientes a la primera sesión de cada usuario como conjunto de entrenamiento. Se hace una validación cruzada y se escoge la mejor de las 4 puntuaciones obtenidas.
- **Comparación automática de vectores de atributos:** para calcular la distancia de los atributos medidos en el sistema Manual se ha aplicado la distancia Manhattan normalizada por la desviación de cada atributo, como muestra la siguiente ecuación:

$$d_1 = \sum_{i=1}^M \left(\frac{f_i - \bar{g}_i}{\sigma_i} \right) \quad (4.1)$$

Donde f_i es el vector de valores del atributo para una firma determinada y \bar{g}_i , σ_i son la media del vector de atributos medidos o la moda del vector de atributos categóricos respectivamente y la desviación del vector de firmas de entrenamiento del sistema respectivamente.

Además del sistema basado en atributos propuesto en este trabajo se utilizarán dos sistemas automáticos basados en atributos dinámicos y estáticos de la firma:

- **Dynamic time Warping [35]:** es un algoritmo que consigue comparar el parecido entre dos secuencias temporales que pueden ser de distinto tamaño. El objetivo de DTW es calcular el camino óptimo entre dos secuencias de muestras que minimice una medida de distancia. Se calcula la distancia acumulada entre los vectores como:

$$g_k = g(i, j) = \min_{c_{k-1}} [g_{k-1} + d(c_k) \cdot w(k)] \quad (4.2)$$

Donde c_k representa una correspondencia (i, j) entre las dos secuencias y $w(k)$ se define como el factor de ponderación. Después se normaliza para compensar los efectos de la longitud de la secuencia:

$$D(X, Y) = \frac{g_k}{\sum_{k=1}^K w(k)} \quad (4.3)$$

La Fig. 4.2 muestra un posible factor de ponderación y la relación entre dos secuencias analizadas por el algoritmo, en este caso firmas.

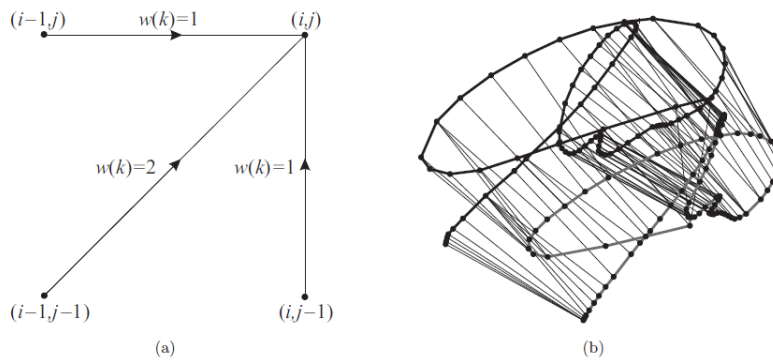


Figura 4.2: (a) Ejemplo de un factor de ponderación $w(k)$ simétrico para DTW. (b) Ejemplo de la correspondencia punto a punto usando DTW entre dos secuencias de firmas genuinas [36].

- **Scale Invariant Feature Transform (SIFT) [37],[38]:** Este algoritmo pretende encontrar ciertos puntos clave, descriptores, de las imágenes con unas propiedades que permiten encontrar coincidencias con otras imágenes o objetos. Las principales etapas por las que pasa el algoritmo son las siguientes:
 - **Scale-space extrema detection:** en la primera etapa se analizan todas las escalas y localizaciones posibles de la imagen, para encontrar puntos que sean invariantes al escalado de la imagen.
 - **Keypoint localization:** en esta etapa un modelo más detallado determina la localización y orientación del punto clave, seleccionado de acuerdo a su estabilidad.
 - **Orientation assignment:** se asigna orientaciones a cada punto clave, para que también sean invariantes a la orientación, cuando se realicen futuras transformaciones sobre ellos.
 - **Keypoint descriptor:** en el último paso la región alrededor de los puntos de interés es transformada para hacerlos parcialmente invariantes a la distorsión por iluminación o a la distorsión de la forma.

La Fig. 4.3 muestra la caracterización de dos firmas mediante estos descriptores, cada firma obtendrá distintos descriptores, en distintas posiciones, según las características de su trazo. Debido a que este algoritmo se basa en encontrar los puntos más diferenciales de una imagen, es decir, los bordes, en este caso de análisis de firmas, los descriptores se encontraran mayoritariamente situados a lo largo del trazo de las firmas.



Figura 4.3: Descriptores SIFT extraídos de dos firmas distintas de un mismo usuario.

En este estudio se utiliza una variación de SIFT conocida como Dense-SIFT que se ha modificado para extraer los keypoints de forma secuencial de trazo de la firma y además se usa DTW para la comparación de los descriptores obtenidos [39].

Todos los experimentos realizados se dividen en dos categorías, experimentos con random forgeries, en los que las firmas genuinas de un usuario se comparan con las firmas genuinas del resto de usuarios, y experimentos con skilled forgeries, en los que las firmas genuinas de cada usuario se comparan con las firmas falsificadas almacenadas para ese mismo usuario.

4.2.1. Evaluación del rendimiento

Para poder evaluar el funcionamiento de los sistemas presentados se han utilizado 3 tipos de curvas distintas:

- **FAR:** la tasa de falsa aceptación es, dado un conjunto de usuarios impostores, el porcentaje de usuarios que el sistema acepta como auténticos cuando en realidad no lo son.
- **FRR:** la tasa de falso rechazo es, dado un conjunto de usuarios genuinos, el porcentaje de usuarios que el sistema rechaza siendo éstos usuarios auténticos.
- **ROC:** esta curva conocida como Receiver Operating Curve, o curva característica de funcionamiento del receptor, es la curva que relaciona los valores FAR y FRR en una misma gráfica, pudiendo observar el comportamiento de una de ellas cuando variamos la otra.

Además, también se proporciona, para cada experimento, el EER, Equal Error Rate, una única medida que permite de forma rápida y sencilla hacerse una idea del rendimiento del sistema. El EER se consigue cuando se satisface la condición de $FAR=FRR$.

4.3. Experimentos

Para la realización de los experimentos y como primera fase se ha decidido poner a prueba los sistemas disponibles por separado para probar su eficacia sobre los 30 primeros usuarios de la base de datos BiosecureID. Una vez realizados y analizados los resultados obtenidos se ha procedido a la segunda fase, la fusión de los sistemas, para observar si el sistema de fusión creado a partir del sistema de Anotación Manual de atributos, junto con los otros dos sistemas, mejora el rendimiento de los sistemas individuales, Fig. 4.4.

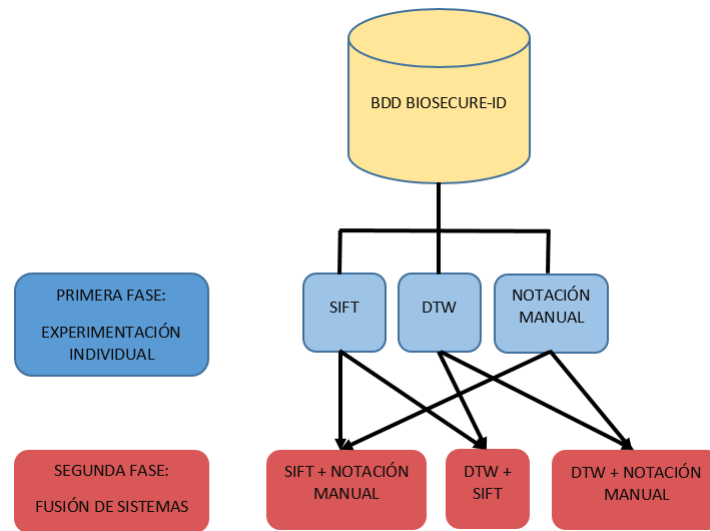


Figura 4.4: Experimentación con los sistemas existentes.

Como primer experimento se ha evaluado el rendimiento de cada sistema por separado, SIFT, DTW y el sistema de anotación manual creado. El rendimiento obtenido para los 3 sistemas se muestran en la tabla 4.1.

	Skilled forgeries	Random forgeries
SIFT	18.05 %	4.44 %
Anotación manual	12.77 %	2.5 %
DTW	6.94 %	1.94 %

Tabla 4.1: Comparación de los resultados en función de EER obtenidos para cada sistema por separado.

Tras varias pruebas pruebas, se ha decidido eliminar los atributos A14, A15 y A16, gracias

a este cambio se consigue mejorar el rendimiento del sistema. Como era de esperar y se puede observar en la tabla 4.1, el sistema de Anotación Manual de atributos creado, no logra superar al mejor sistema usado en este estudio, DTW, que consigue un rendimiento 21 % mejor en el caso de random forgeries y un 48 % en el caso de skilled forgeries. Este rendimiento superior es debido a que el sistema DTW utiliza información dinámica, muy útil para diferenciar falsificaciones, mientras que en el sistema basado en atributos sólo se dispone de información estática (trazo). Las curvas ROC se muestran en las figuras 4.5 y 4.6.

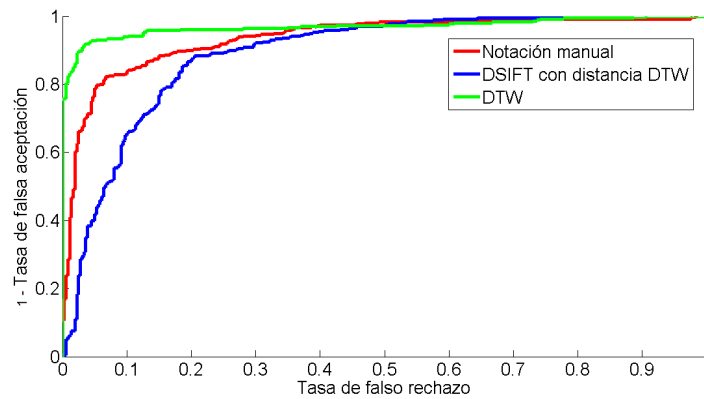


Figura 4.5: Rendimiento de los sistemas con respecto a su FAR y FRR, por separado para el caso de skilled forgeries.

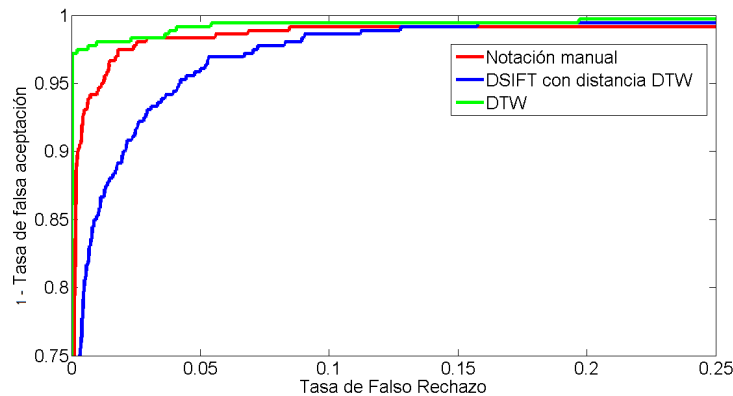


Figura 4.6: Rendimiento de los sistemas, con respecto a su FAR y FRR, por separado para el caso de random forgeries.

Para el caso de skilled forgeries se puede apreciar como el rendimiento del sistema DTW es superior para valores FRR por debajo de 0.4, después el rendimiento se iguala para los 3 sistemas, quedando como mejor sistema el basado en información dinámica, DTW. Sin embargo al observar la curva ROC para el caso de random forgeries no ocurre lo mismo, el rendimiento para valores de FRR de 0.03-0.04 del sistema de Anotación Manual de atributos es igual al sistema DTW. A partir de este valor los dos sistemas se comportan de forma muy similar.

Para el segundo experimento se estudia y comprueba si la fusión de sistemas y más concretamente, la fusión del sistema de Anotación Manual creado, junto con el resto puede incrementar el rendimiento del mejor sistema existente, en este caso DTW. La combinación se realiza mediante una suma ponderada de las puntuaciones, que previamente han sido normalizadas por tangente hiperbólica. Los resultados obtenidos en función de EER se resumen en la tabla 4.2.

	Skilled forgeries	Random forgeries
SIFT + Anotación manual	10.55 %	1.11 %
DTW + SIFT	9.16 %	1.08 %
DTW + Anotación manual	4.72 %	0.21 %

Tabla 4.2: Comparación de los resultados en función de EER obtenidos para la fusión de sistemas.

Se han realizado varios intentos de fusión, primero con el sistema SIFT, comprobando cómo mejora en un 45 % el rendimiento para random forgeries respecto al sistema DTW, pero no consigue lo mismo en el caso de skilled forgeries, donde el sistema DTW es un 25 % mejor que esta primera fusión de sistemas.

En una segunda prueba se fusiona el nuevo sistema de Anotación Manual creado, con otros sistemas. Se fusiona DTW y el nuevo sistema obteniendo una clara mejora respecto al sistema DTW, consiguiendo un rendimiento para random forgeries, de aproximadamente, 89 % mejor y un rendimiento para skilled forgeries de un 31 % mejor. En las figuras 4.8 y 4.7 se muestran las curvas FAR y FRR para ver en detalle el comportamiento de los sistemas y fusiones descritos.

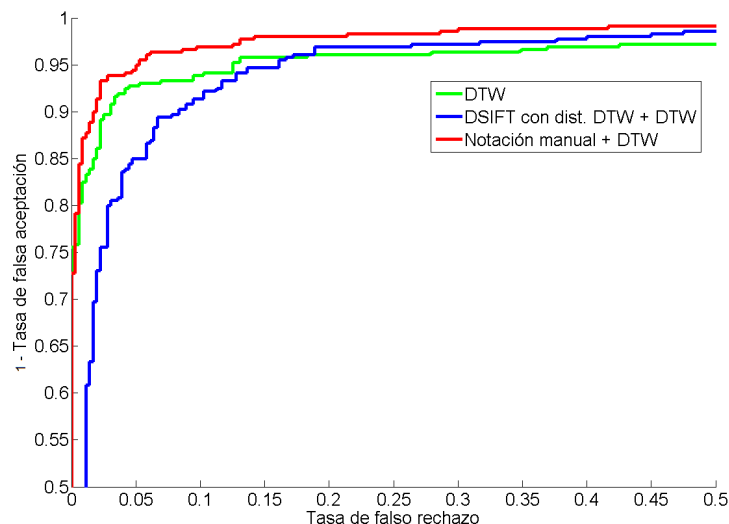


Figura 4.7: Rendimiento de las fusiones de los sistemas con respecto a su FAR y FRR, para el caso de skilled forgeries.

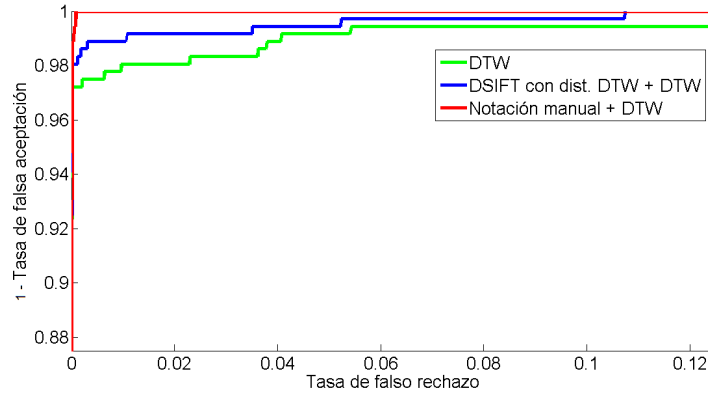


Figura 4.8: Rendimiento de las fusiones de los sistemas con respecto a su FAR y FRR, para el caso de random forgeries.

En este nuevo experimento las curvas ROC muestran un comportamiento superior, en todo el rango mostrado, de el sistema basado en la fusión de DTW más Anotación manual frente DTW. Esto puede sugerir que existen ciertos datos e informaciones que no se contemplan en el algoritmo DTW usado en este estudio y que pueden complementarlo.

4.3.1. Experimentación con los atributos del sistema de Anotación Manual

Para estudiar más en profundidad el comportamiento de los atributos anotados de la base de datos creada, se han realizado dos experimentos que se resumen en los siguientes capítulos.

Para completar el estudio se han realizado histogramas relacionados con cada uno de los atributos analizados, los cuales se muestran en el apéndice A, y que muestran el tipo de escritura presente en la base de datos y el funcionamiento de la propia herramienta creada durante la anotación de atributos.

4.3.1.1. Ponderación

El objetivo de este experimento es intentar observar qué atributos se comportan mejor dentro del sistema creado, para ello se realiza una media de disimilitud con la ponderación de los scores del grupo de atributos categóricos y de los scores del grupo de atributos medidos, según la siguiente ecuación:

$$Score_{FINAL} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((1 - w) * Score_{CATEGORICO} + w * Score_{MEDIDO}) \quad (4.4)$$

Los atributos categóricos han recibido valores discretos según la selección del etiquetador. Se ha decidido utilizar la moda de cada vector de atributos, calculando la distancia entre vectores como 0 para el caso en el que la selección coincide y 1 para cuando no coincide. Para los atributos

medidos se ha usado la media del vector. Las distancias entre vectores de los atributos medidos se han calculado mediante la distancia Manhattan, explicada anteriormente en este capítulo.

Una vez conseguidos los scores gracias al cálculo de la distancias entre vectores de valores, se ha realizado la ponderación de los dos grupos de atributos. La tabla 4.3 muestra los resultados conseguidos, con un valor de ponderación bajo se dará una mayor importancia a los atributos medidos, con un valor de ponderación alto se dará más importancia a los atributos categóricos. Como se puede apreciar en la tabla 4.3 dando mayor importancia a atributos medidos conseguimos un mejor rendimiento del sistema de Anotación manual.

Ponderación	Skilled forgeries	Random forgeries
0.1	7.22 %	2.77 %
0.2	8.61 %	2.22 %
0.3	10.83 %	2.22 %
0.4	11.11 %	2.5 %
0.5	12.77 %	2.5 %
0.6	14.44 %	2.5 %
0.7	15.27 %	2.5 %
0.8	16.11 %	2.52 %
0.9	16.38 %	2.55 %

Tabla 4.3: Comparación del EER obtenido en función de la ponderación de los dos grupos de atributos.

4.3.1.2. Discriminabilidad

Se ha estudiado y analizado la discriminabilidad de cada atributo por separado para el caso de random forgeries y "skilled forgeries". Para poder conseguir estos índices de discriminabilidad primero se procede a normalizar los valores de cada atributo con una normalización de tangente hiperbólica, teniendo en cuenta la media y la varianza de los valores del atributo en cuestión. Esta normalización se muestra en la siguiente ecuación:

$$A' = \frac{1}{2} * (\tanh(0,01 * (\frac{A - \mu^A}{\sigma^A})) + 1) \quad (4.5)$$

Después de este paso, se procede al cálculo de los índices. Se calcula un índice para random forgeries y otro para skilled forgeries, para cada atributo. Para el índice de random forgeries D_R se opera con la media μ^i y varianza σ^i de cada usuario junto con las medias μ^j y varianzas σ^j del resto de usuarios (escogiendo únicamente firmas genuinas), como muestra la siguiente ecuación:

$$D_R = \frac{1}{(N-1) * N} \sum_{i=1, i \neq j}^N \sum_{j=1}^N \left(\frac{|\mu^i - \mu^j|}{\sigma^i + \sigma^j} \right) \quad (4.6)$$

Para el índice de skilled forgeries D_F se opera con la media μ^i y varianza σ^i de cada usuario junto con la media μ_F^i y varianza σ_F^i de las firmas que han sido falsificadas para ese mismo usuario, como muestra la siguiente ecuación:

$$D_F = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{|\mu^i - \mu_F^i|}{\sigma^i + \sigma_F^i} \right) \quad (4.7)$$

Con éste calculo se pretende analizar el comportamiento de cada atributo por separado para el caso de random forgeries y de skilled forgeries. No se comparará los dos grupos como conjunto debido a que los atributos medidos ofrecen una mayor varianza que los atributos categóricos (esto provoca que parezca que los atributos categóricos son más discriminantes que los medidos). La Fig. 4.9 muestra los resultados de este experimento. Se puede observar el comportamiento de cada índice para el caso de random o skilled forgeries en cada atributo, por ejemplo en el caso de A9 (Dudas y temblores) se obtiene un índice de discriminabilidad mayor en el caso skilled que en el caso random debido a que para el caso de random forgeries las firmas, y sus atributos, se comparan con firmas genuinas de otros usuarios donde no suele existir dudas o temblores. El atributo A5, referente a los signos de puntuación y diacríticos, es donde se consiguen la mayor similitud entre índices, durante el proceso de falsificación es usual que el falsificador introduzca ciertos trazos propios o omita copiar los pequeños trazos o signos de puntuación que pueden caracterizar una firma.

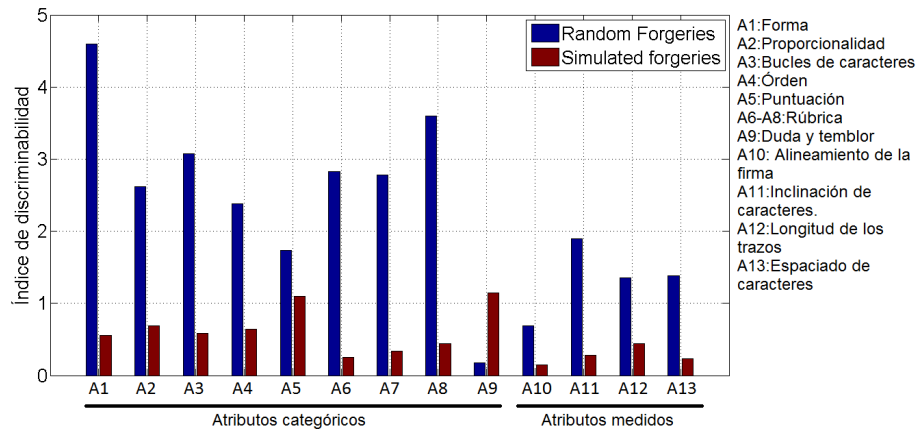


Figura 4.9: Índices de discriminabilidad de cada atributo para random y skilled forgeries.

5

Conclusiones y trabajo futuro

5.1. Conclusiones

El presente Proyecto Final de Carrera se propone y estudia el uso de sistemas semi-automáticos basados en el etiquetado manual de atributos como método para mejorar los sistemas automáticos de reconocimiento de firma manuscrita.

Para este estudio se ha usado BiosecureID como base de datos para la experimentación de los sistemas online y offline, se han seleccionado características de acuerdo a la facilidad y rapidez con las que pueden ser analizadas y recogidas en una nueva base de datos, para ello, se ha diseñado una interfaz sencilla que permite visualizar y almacenar las características que nos interesan.

Del estudio y experimentación realizada en el proyecto se pueden extraer las siguientes conclusiones generales:

- Las características escogidas para este estudio muestran una mejora del sistema online DTW, cuando se fusiona con éste último, demostrando que estos atributos pueden complementar en cierto grado a las características online. En concreto el sistema basado en la fusión de atributos más DTW mejora un 89 % en random forgeries y un 31 % en skilled forgeries, frente al sistema basado en información dinámica, DTW.
- Ciertas características dan mejores rendimientos para el sistema de Notación Manual creado que otras, en concreto se ha observado que dar más importancia a las características medidas consigue un mejor rendimiento del sistema.

- Los resultados conseguidos en los diferentes experimentos realizados en este estudio muestran unos resultados esperanzadores y sugieren la existencia de un campo a explorar en relación a la verificación de firma.

5.2. Trabajo futuro

Existen varios caminos que se pueden tomar para continuar investigando e experimentando en el área del PFC presentado:

- Realizar estudios con anotaciones de la base de datos completa y con varios usuarios, actualmente en curso, para examinar con mas exactitud el rendimiento de este sistema.
- Realizar estudios mas completos sobre discriminabilidad, estabilidad y rendimiento de cada característica para así seleccionar las que ofrezcan un mejor resultado.
- Estudiar la posibilidad de añadir información dinámica que este disponible al usuario en el momento de extraer las características, como por ejemplo, patrones de velocidad o presión.
- Estudiar otras formas en las que un usuario puede ayudar al sistema automático.

Glosario de acrónimos

- **BDD**: *Base de Datos*.
- **DET**: *Detection Error Trade-off*.
- **DTW**: *Dynamic Time Warping*.
- **EER**: *Equal Error Rate*. Tasa de error, en los sistemas de reconocimiento biométrico, en el punto de trabajo en que error de falsa aceptación y error de falso rechazo son iguales.
- **FA**: *False Acceptance*.
- **FR**: *False Rejection*.
- **FAR**: *False Acceptance Rate*.
- **FRR**: *False Rejection Rate*.
- **ROC**: *Receiver Operating Characteristic*.
- **Score**: Puntuación obtenida por un sistema de reconocimiento biométrico en la comparación entre un patrón de referencia y un rasgo biométrico de test.
- **SFFS**: *Sequential Forward Floating Search*.
- **SVC**: *Signature Verification Competition*.
- **UAM**: *Universidad Autónoma de Madrid*.

Bibliografia

- [1] R. A. A. Jain, A. K. and K. Nandakumar, *Introduction to biometrics*. Springer Science Business Media, 2011.
- [2] B. R. Jain, A. and S. Pankanti, *Biometrics: personal identification in networked society*, vol. 479. Springer Science Business Media, 2006.
- [3] D. Impedovo and G. Pirlo, “Automatic signature verification: the state of the art,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, vol. 38(5), pp. 609–635, 2008.
- [4] D.-C. M. F. M. A. G.-B. M. M. A. Galbally, J. and J. Fierrez, “On-line signature recognition through the combination of real dynamic data and synthetically generated static data,” *Pattern Recognition*, vol. 48(9), pp. 2921–2934, 2015.
- [5] M. M.-D. J. Galbally and J. Fierrez, “Aging in biometrics: An experimental analysis on on-line signature,” *PloS one*, 2013.
- [6] E. Y. A. B. F. Justino, E. J. and R. Sabourin, “An off-line signature verification system using hmm and graphometric features,” in *Fourth IAPR International Workshop on Document Analysis Systems*, pp. 211–222, December 2000.
- [7] F. J. M.-D. M. Alonso-Fernandez, F. and J. Ortega-Garcia, “Fusion of static image and dynamic information for signature verification,” in *Image Processing*, pp. 2725–2728, 16th IEEE International Conference on, November 2009.
- [8] S. R. M. P. Vatsa, M. and A. Noore, “Signature verification using static and dynamic features,” in *In Neural Information Processing* (S. B. Heidelberg., ed.), pp. 350–355, 2004.
- [9] A. Al-Shoshan, “Handwritten signature verification using image invariants and dynamic features,” in *Computer Graphics, Imaging and Visualisation*, pp. 173–176, International Conference on, July 2006.
- [10] G. Rigoll and A. Kosmala, “A systematic comparison between on-line and off-line methods for signature verification with hidden markov models,” in *Pattern Recognition*, pp. 1755–1757, Fourteenth International Conference on, July 1998.

- [11] N. L. L.-P. J. O.-G. J. Fierrez-Aguilar, J. and D. Maltoni, "An on-line signature verification system based on fusion of local and global information," in *Audio-and video-based biometric person authentication*, pp. 523–532, 2005.
- [12] M. N. D. Reid and S. V. Stevenage, "Soft biometrics; human identification using comparative descriptions," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 36(6), pp. 1216–1228, 2014.
- [13] P. N. B. N. Kumar, A. C. Berg and S. K. Nayar, "Describable visual attributes for face verification and image search," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 33(10), p. 1962–1977, 2011.
- [14] J. K. E. T.-T. A. B. F. Klare, S. Klum and A. K. Jain, "Suspect identification based on descriptive facial attributes," *Proc. of International Joint Conference on Biometrics*, 2014.
- [15] V. M. P. P. Samangouei and R. Chellappa, "Attribute-based continuous user authentication on mobile devices," *Proc. Int. Conf. on Biometrics: Theory, Applications and Systems*, 2015.
- [16] L. M. D. A. Malik, M. I. and B. Found, "Man vs. machine: A comparative analysis for forensic signature verification," in *Proc. of the 16th International Graphonomics Society Conference*, Junio 2013.
- [17] H. Coetzer and R. Sabourin, "A human-centric off-line signature verification system," in *Document Analysis and Recognition. ICDAR*, pp. 153–157, Septiembre 2007.
- [18] C. F. Luiz S. Oliveira, Edson Justino and R. Sabourin, "The graphology applied to signature verification," in *12th Conference of the International Graphonomics Society*, pp. 1–4, 2005.
- [19] R. P. K. M. Martinez-Diaz, J. Fierrez and J. Galbally, "Mobile signature verification: Feature robustness and performance comparison," *IET Biometrics*, vol. 3, pp. 267–277, 2014.
- [20] J. G. A. A. R. Plamondon, C. O'Reilly and E. Anquetil, "Recent developments in the study of rapid human movements with the kinematic theory: Applications to handwriting and signature synthesis," *Pattern Recognition*, vol. 35, pp. 225–235, 2014.
- [21] J. F. J. Galbally, R. Plamondon and J. Ortega-Garcia, "Synthetic on-line signature generation. part i: Methodology and algorithms," *Pattern Recognition*, vol. 45, pp. 2610–2621, 2012.
- [22] J. O.-G. J. Galbally, J. Fierrez and R. Plamondon, "Synthetic on-line signature generation. part ii: Experimental validation," *Pattern Recognition*, vol. 45, pp. 2622–2632, 2012.
- [23] J. O.-G. R. Tolosana, R. Vera-Rodriguez and J. Fierrez, "Preprocessing and feature selection for improved sensor interoperability in online biometric signature verification," *IEEE Access*, vol. 3, pp. 478 – 489, 2015.

- [24] J. F. R. Tolosana, R. Vera-Rodriguez and J. Ortega-Garcia, "Feature-based dynamic signature verification under forensic scenarios," *3rd International Workshop on Biometrics and Forensics*, 2015.
- [25] J. O.-G. R. Tolosana, R. Vera-Rodriguez and J. Fierrez, "Update strategies for hmm-based dynamic signature biometric systems," *7th IEEE Int. Workshop on Information Forensics and Security*, 2015.
- [26] J. O.-G. R. Tolosana, R. Vera-Rodriguez and J. Fierrez, "Increasing the robustness of biometric templates for dynamic signature biometric systems," *49th Annual Int. Carnahan Conf. on Security Technology*, 2015.
- [27] J. O.-G. R. Tolosana, R. Vera-Rodriguez and J. Fierrez, "Optimal feature selection and interoperability compensation for on-line biometric signature authentication," *Proc. IEEE/IAPR Int. Conf. on Biometrics*, 2015.
- [28] J. O.-G. R. Vera-Rodriguez, R. Tolosana and J. Fierrez, "e-biosign: Stylus- and finger-input multi-device database for dynamic signature recognition," *3rd International Workshop on Biometrics and Forensics*, 2015.
- [29] J. O.-G. A. A. R. Vera-Rodriguez, J. Fierrez and R. Tolosana, "e-biosign tool: Towards scientific assessment of dynamic signatures under forensic conditions," *IEEE Seventh International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems*, 2015.
- [30] *E2290-07a Standard Guide for Examination of Handwritten Items*, ASTM, 2007.
- [31] J. de la Uz Jimenez, *Manual de grafística*. Valencia: Tirant Lo Blanch, 2008.
- [32] V. K. Madasu and B. C. Lovell, "An automatic offline signature verification and forgery detection system," in *Pattern Recognition Technologies and Applications: Recent Advances*, pp. 63–89, 2008.
- [33] T. C. M. Vasquez, J. L. and J. B. Alonso, "Using calligraphies features for off line writer identification," in *In Security Technology (ICCST), 2013 47th International Carnahan Conference on (pp. 1-6)*, IEEE, October 2013.
- [34] e. a. J. Fierrez, J. Galbally, "Biosecuid: a multimodal biometric database," *Pattern Analysis and Applications*, pp. 235–246, 2010.
- [35] H. Sakoe and S. Chiba, "Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, pp. 43–49, 1978.
- [36] M. Martinez-Diaz, "Dynamic signature verification for portable devices," Master's thesis, UAM, 2008.
- [37] D. G. Lowe, "Object recognition from local scale-invariant features," in *In Computer vision*, pp. 1150–1157, The proceedings of the seventh IEEE international conference, 1999.

- [38] D. G. Lowe, “Distinctive image features from scale-invariant keypoints,” *International journal of computer vision*, vol. 60(2), pp. 91–110, 2004.
- [39] Y. J. Liu, C. and A. Torralba, “Sift flow: Dense correspondence across scenes and its applications,” *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, pp. 978–994, 2011.



Histogramas

Para realizar los histogramas, se han elegido únicamente los valores correspondientes a las firmas genuinas.

En Fig A.1, se muestra los histogramas de la única característica calculada automáticamente, el calibre (altura y anchura), similares a una distribución log-normal. En Fig A.2, Fig A.4, Fig A.5, Fig A.6 se muestran los histogramas pertenecientes a las características con valores medidos, en estas distribuciones se puede observar el uso que se ha dado por parte del usuario de la aplicación, en todos los casos a partir del tercer cálculo opcional, el número de datos obtenidos cae considerablemente, es decir, el usuario no ha encontrado el número de trazos de interés para valorar que se habían proyectado para la aplicación en un principio. En el resto de distribuciones, Fig A.3, Fig A.6, Fig A.7, Fig A.8, Fig A.9, Fig A.10, Fig A.11, junto con las anteriores ya nombradas, se puede observar en cierta medida, la tendencia general de la escritura por parte de los usuarios de la base de datos.

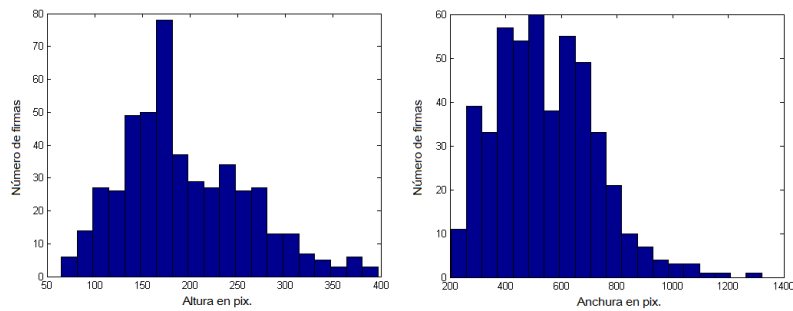


Figura A.1: Distribución de la longitud en altura y anchura de las firmas analizadas.

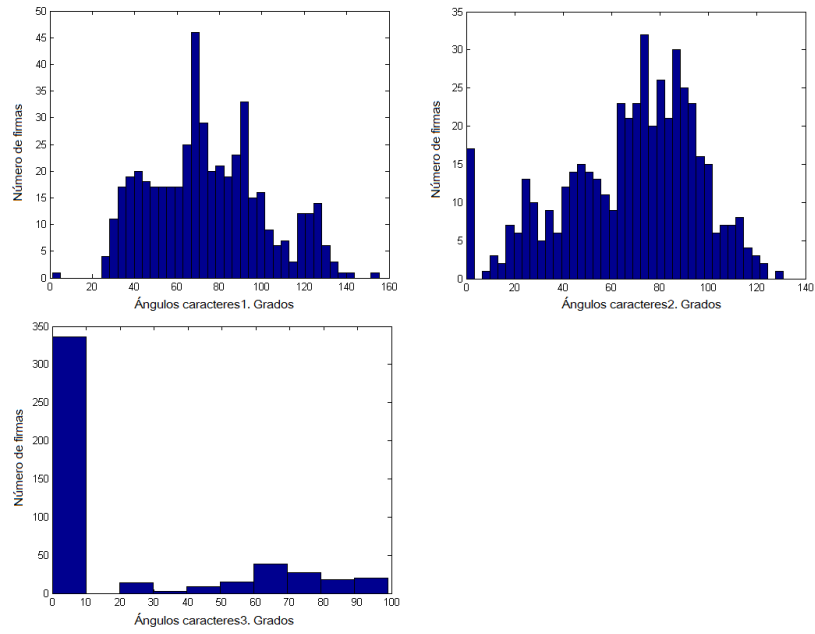


Figura A.2: Distribución de los ángulos de los caracteres de la firma.

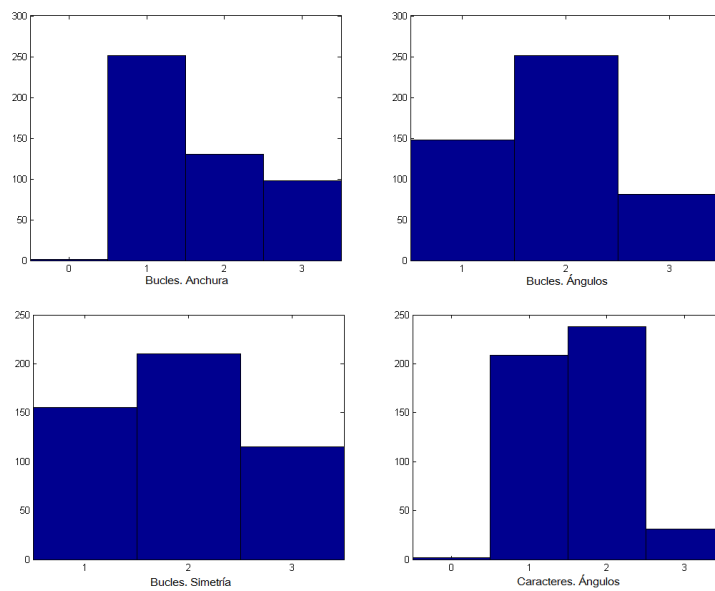


Figura A.3: Distribución de los tipos de bucles y giros presentes en el trazo.

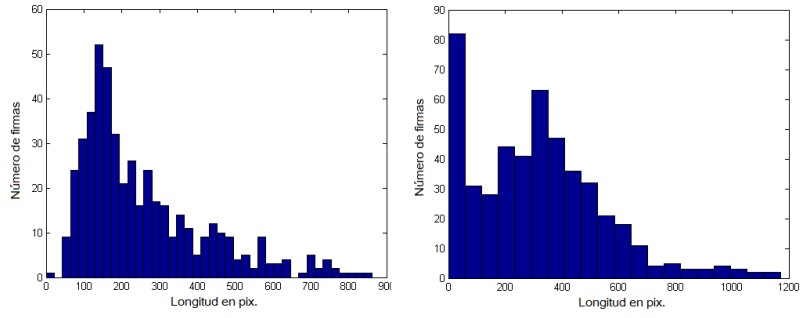


Figura A.4: Distribución de la longitud de los trazos de la firma.

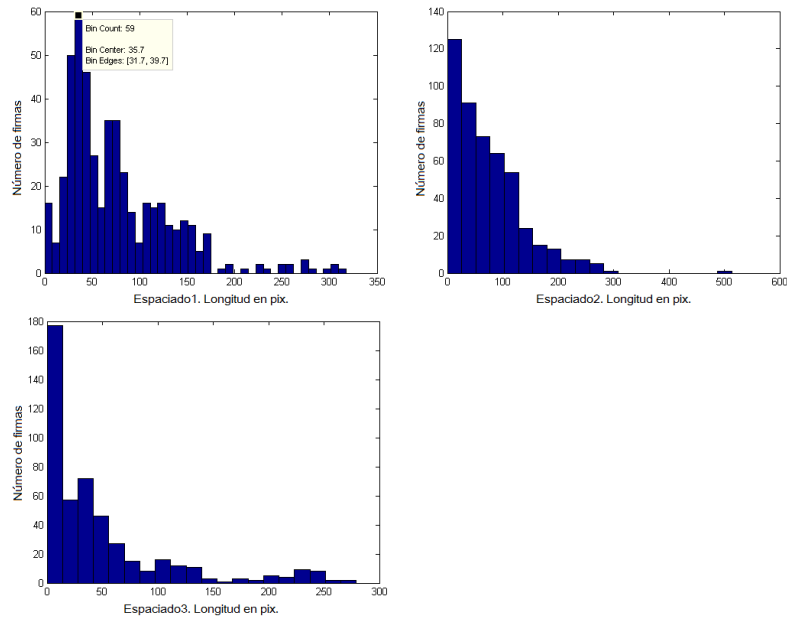


Figura A.5: Distribución de la longitud del espaciado entre caracteres de la firma.

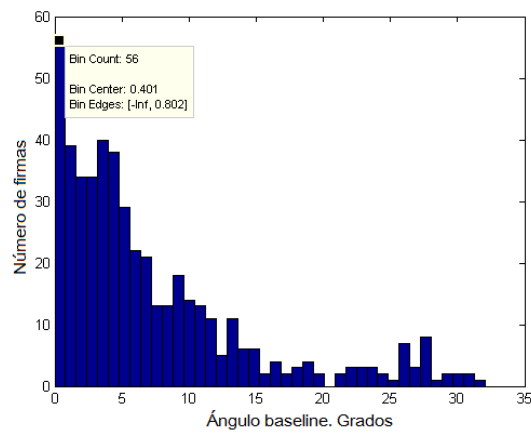


Figura A.6: Distribución de los ángulos de la firma con respecto a la línea de referencia.

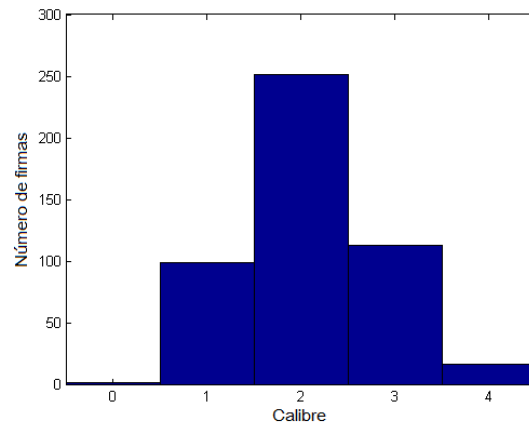


Figura A.7: Distribución de los valores del calibre.

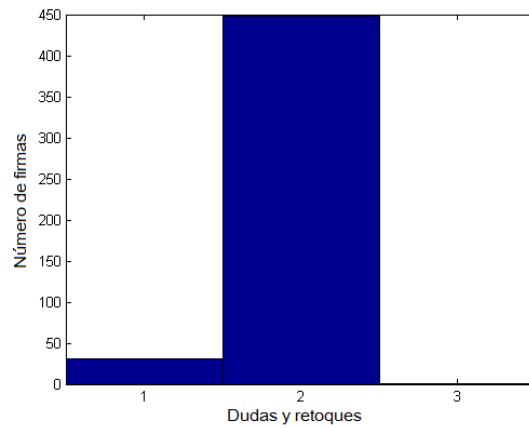


Figura A.8: Distribución de los valores de la característica dudas y retoques.

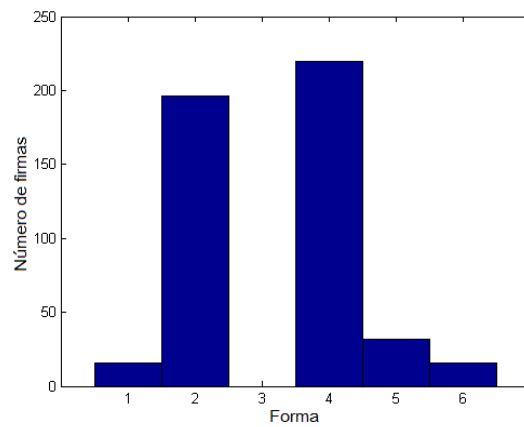


Figura A.9: Distribución de los valores de la forma de la firma.

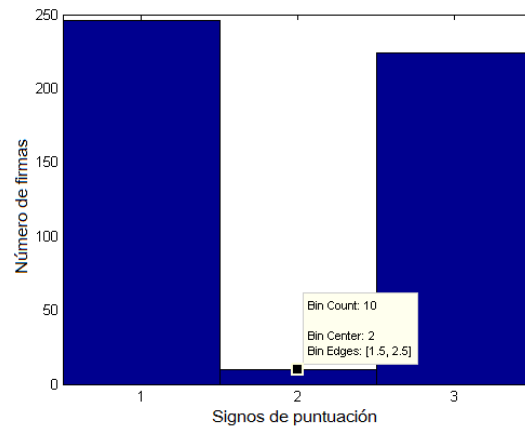


Figura A.10: Distribución de los valores de la variable signos de puntuación.

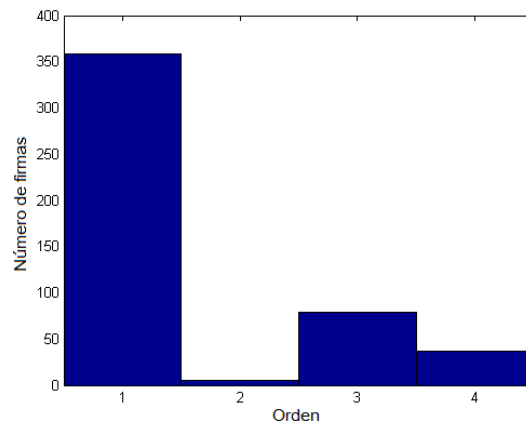


Figura A.11: Distribución de los valores de la variable orden.

B

Presupuesto

1) Ejecución Material	
▪ Compra de ordenador personal (Software incluido)	800 €
▪ Material de oficina	100 €
▪ Total de ejecución material	900 €
2) Gastos generales	
▪ sobre Ejecución Material	180 €
3) Beneficio Industrial	
▪ sobre Ejecución Material	70 €
4) Honorarios Proyecto	
▪ 1000 horas a 15 €/ hora	15000 €
5) Material fungible	
▪ Gastos de impresión	100 €
▪ Encuadernación	200 €
6) Subtotal del presupuesto	
▪ Subtotal Presupuesto	16450 €
7) I.V.A. aplicable	
▪ 21 % Subtotal Presupuesto	3454,5 €

8) Total presupuesto

■ Total Presupuesto	19904,5 €
---------------------	-----------

Madrid, Enero 2016

El Ingeniero Jefe de Proyecto

Fdo.: Francisco José Fernández Herrero

Ingeniero de Telecomunicación



Pliego de condiciones

Pliego de condiciones

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización de este proyecto. En lo que sigue, se supondrá que el proyecto ha sido encargado por una empresa cliente a una empresa consultora con la finalidad de realizar un sistema de reconocimiento de firma basado en interacción humana con anotación de atributos. Dicha empresa ha debido desarrollar una línea de investigación con objeto de elaborar el proyecto. Esta línea de investigación, junto con el posterior desarrollo de los programas está amparada por las condiciones particulares del siguiente pliego.

Supuesto que la utilización industrial de los métodos recogidos en el presente proyecto ha sido decidida por parte de la empresa cliente o de otras, la obra a realizar se regulará por las siguientes:

Condiciones generales.

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.
2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.

3. En la oferta, se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.
4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero Superior de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.
5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.
6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.
7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales, se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto, no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.
8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.
9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que sin embargo es admisible a juicio del Ingeniero Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.
10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento, se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.
11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores

dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho sin embargo, sino a lo que le correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.

12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partidaalzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.
13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.
14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.
15. La garantía definitiva será del 4
16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.
17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.
18. Si el contratista al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.
19. El contratista está obligado a designar una persona responsable que se entenderá con el Ingeniero Director de obras, o con el delegado que éste designe, para todo relacionado con ella. Al ser el Ingeniero Director de obras el que interpreta el proyecto, el contratista deberá consultarle cualquier duda que surja en su realización.
20. Durante la realización de la obra, se girarán visitas de inspección por personal facultativo de la empresa cliente, para hacer las comprobaciones que se crean oportunas. Es obligación del contratista, la conservación de la obra ya ejecutada hasta la recepción de la misma, por lo que el deterioro parcial o total de ella, aunque sea por agentes atmosféricos u otras causas, deberá ser reparado o reconstruido por su cuenta.
21. El contratista, deberá realizar la obra en el plazo mencionado a partir de la fecha del contrato, incurriendo en multa, por retraso de la ejecución siempre que éste no sea debido a causas de fuerza mayor. A la terminación de la obra, se hará una recepción provisional

previo reconocimiento y examen por la dirección técnica, el depositario de efectos, el interventor y el jefe de servicio o un representante, estampando su conformidad el contratista.

22. Hecha la recepción provisional, se certificará al contratista el resto de la obra, reservándose la administración el importe de los gastos de conservación de la misma hasta su recepción definitiva y la fianza durante el tiempo señalado como plazo de garantía. La recepción definitiva se hará en las mismas condiciones que la provisional, extendiéndose el acta correspondiente. El Director Técnico propondrá a la Junta Económica la devolución de la fianza al contratista de acuerdo con las condiciones económicas legales establecidas.
23. Las tarifas para la determinación de honorarios, reguladas por orden de la Presidencia del Gobierno el 19 de Octubre de 1961, se aplicarán sobre el denominado en la actualidad "Presupuesto de Ejecución de Contrataz anteriormente llamado "Presupuesto de Ejecución Material" que hoy designa otro concepto.

Condiciones particulares.

La empresa consultora, que ha desarrollado el presente proyecto, lo entregará a la empresa cliente bajo las condiciones generales ya formuladas, debiendo añadirse las siguientes condiciones particulares:

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.
2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.
3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.
4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones así como su cantidad.
5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.
6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.

7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.
8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.
9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.
10. La empresa consultora no se responsabiliza de los efectos laterales que se puedan producir en el momento en que se utilice la herramienta objeto del presente proyecto para la realización de otras aplicaciones.
11. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.
12. El Ingeniero Director del presente proyecto, será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.